

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid

W 79

Chloor in duurzaam perspectief

Over zekerheden en onzekerheden

W.M. de Jong

Den Haag, december 1994

Exemplaren van deze uitgave zijn te bestellen bij het Distributiecentrum Overheidspublikaties, Postbus 20014, 2500 EA 's-Gravenhage, door overmaking van f 15,-- op giro 751 dan wel schriftelijk of telefonisch (071-352500) onder vermelding van titel en ISBN-nummer en het aantal gewenste exemplaren.

ISBN 90 346 3125 7

Publikatie van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR),
Postbus 20004, 2500 EA 's-Gravenhage (tel. 070-3564600).

CHLOOR IN DUURZAAM PERSPECTIEF

Over zekerheden en onzekerheden

W.M. de Jong

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	De keuze van chloor	5
1.2	Duurzaamheid	6
1.3	Opzet van de studie	8
2	ASPECTEN VAN CHLOORGEBRUIK	11
2.1	Produktie van chloor	11
2.1.1	Verschillende produktietechnieken	11
2.1.2	Koppeling van chloor en natronloog	12
2.1.3	Enkele economische gegevens	14
2.2	De chloorecyclus	16
2.3	Toepassingen van chloor	17
3	MILIEU-EFFECTEN	21
3.1	Energieverbruik	21
3.2	Grondstofgebruik	22
3.3	Vervuiling	22
3.3.1	Beïnvloeding van biologische en fysische processen	22
3.3.2	Persistentie	23
3.3.3	Cumulatief gedrag	23
3.3.4	Transformatie in schadelijke volgprodukten	24
3.3.5	Vergroting van verstoringsgvoeligheid	25
3.4	Kanttekeningen	25
4	ENKELE ONTWIKKELINGEN NADER BEKEKEN	29
4.1	Ontwikkelingen op procesniveau	30
4.1.1	Produktieprocessen	30
4.1.2	Transport van chloor	33
4.2	Polyvinylchloride (PVC)	35
4.2.1	Kunststoffen in het algemeen	35
4.2.2	PVC: produktie en toepassing	37
4.2.3	PVC en het milieu	39
4.2.4	Verbranding van PVC	41
4.2.5	Hergebruik van PVC	43
4.2.6	Vervanging van PVC	45

4.3	Bestrijdingsmiddelen	49
4.3.1	Algemene ontwikkelingen in bestrijding	49
4.3.2	Gechloreerde bestrijdingsmiddelen	55
4.3.3	Problemen	57
4.3.4	Maatregelen	59
4.4	Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's)	62
4.4.1	Stand van zaken	63
4.4.2	Voortgang bij de vervanging van CFK's	66
4.4.3	Nog noodzakelijke maatregelen	69
4.5	Gechloreerde dioxinen en furanen	71
4.5.1	De schadelijkheid nader bekijken	71
4.5.2	Ontstaan, verspreiding en blootstelling	75
4.5.3	De dioxineproblematiek en de chloor-industrie	78
4.5.4	Maatregelen	81
5	OP ZOEK NAAR DUURZAAMHEID	83
5.1	Verschillende wegen	83
5.2	'Meer met chloor'	85
5.2.1	Algemene omschrijving	85
5.2.2	Nadere illustratie	87
5.3	'Alternatieven voor chloor'	90
5.3.1	Algemene omschrijving	90
5.3.2	Nadere illustratie	92
5.4	'Sober met chloor'	95
5.4.1	Algemene omschrijving	95
5.4.2	Nadere illustratie	96
5.5	'Vermijding van chloor'	99
5.5.1	Algemene omschrijving	99
5.5.2	Nadere illustratie	100
6	SYNTHESISe: NAAR NIEUWE ACCENTEN IN BELEID	105
6.1	Algemene uitgangspunten	106
6.2	Vermindering van onzekerheid	108
6.2.1	LCA en de VNCI/McKinsey-methode	110
6.3	Verhoging van flexibiliteit	114
6.3.1	Een ruime definitie van geslotenheid	115
6.3.2	Omkering van bewijslast	116
6.4	Eliminatie van open toepassingen van chloor	119
6.5	De internationale context	121

De auteur, dr. W.M. de Jong, is natuurkundige en als wetenschappelijk medewerker verbonden aan de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid

1 INLEIDING

Deze studie over chloor maakt deel uit van het project 'Milieu, economie en bestuur' van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR). Op 5 september 1990 verzocht de regering de WRR een advies uit te brengen over de relatie tussen milieu, economie en bestuur. De WRR heeft besloten in twee fasen te rapporteren. Op 29 april 1992 werd de eerste fase afgerond met de publikatie van een rapport aan de Regering met als titel '*Milieubeleid - Strategie, instrumenten en handhaafbaarheid*'¹. In dat rapport werd de aandacht vooral gericht op de instrumenten voor beleid. De tweede fase beoogt een nadere uitdieping van het begrip duurzaamheid te geven. Hiertoe zijn, naast chloor, verschillende deelonderwerpen gekozen: energie, grondstoffen (koper), natuur, voedsel en water².

1.1 De keuze van chloor

De centrale vraag van de nu voorliggende deelstudie is hoe de inzet van chloor en van chloorprodukten zich verhoudt met duurzaamheid. Welke bijdrage kunnen chloorprodukten aan duurzaamheid leveren? En ook, in welke mate moeten de productie en het gebruik ervan worden aangepast, wil er sprake zijn van duurzaamheid? Dit zonder chloorhoudende produkten en processen bij voorbaat schadelijker te veronderstellen dan chloorloze en, verder, met inachtneming van de verschillen die tussen chloorprodukten en tussen toepassingen daarvan bestaan. De keuze voor het element chloor als invalshoek heeft verschillende redenen:

economisch belang

De economische welvaart is op dit moment voor een groot deel gebaseerd op de inzet van chloor. Ruwweg 60% van de produkten van de chemische industrie bevat chloor of is met chloor als hulpstof gemaakt. In moderne economieën is ongeveer de helft van de totale werkgelegenheid direct of indirekt gerelateerd aan chloor.

rol in de milieudiscussie

Chloor heeft de afgelopen decennia in de milieudiscussie, terecht of onterecht, veel aandacht gekregen. Gewezen kan worden op de discussie rond chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en vervangers daarvoor, polyvinylchloride (PVC), gechloreerde bestrijdingsmiddelen, polychloorbifenylen (PCB's) en gechloreerde dioxinen en furanen (PCDD/PCDF's). Het valt niet te ontkennen dat bij verschillende belangrijke milieuproblemen chloorverbindingen een centrale rol spelen of hebben gespeeld.

¹] Milieubeleid - Strategie, instrumenten en handhaafbaarheid, Rapport aan de Regering, nr. 41, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, SDU Uitgeverij, Den Haag, 1992.

²] Duurzame risico's, een blijvend gegeven, Rapport aan de Regering, nr. 44, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, SDU Uitgeverij, Den Haag, 1994.

polarisatie van meningen

Op vrijwel alle terreinen die te maken hebben met het gebruik van chloor bestaat aanzienlijke onenigheid. Sommigen zijn van mening dat zich bij chloor en een aantal daaruit afgeleide verbindingen ook nu nog zulke grote problemen voordoen dat duurzaamheid alleen mogelijk is als het gebruik ervan sterk wordt teruggedrongen. Anderen daarentegen zijn van mening dat de belangrijke problemen zijn opgelost of op korte termijn zullen zijn opgelost. Naar hun mening gaat duurzaamheid zeer wel samen met chloor, en zelfs met een vergrote inzet daarvan.

Chloor is een belangrijke 'test-case' voor het milieubeleid. Vrijwel alle vraagstukken van beleid komen bij chloor, en dan vaak in vrij extreme vorm, naar voren. Een onafhankelijke en zo objectief mogelijke beschouwing zou, gegeven de sterke polarisatie en het grote wantrouwen over en weer, een constructieve bijdrage kunnen leveren aan de discussie en de besluitvorming over chloor. Een dergelijke beschouwing ligt in lijn met het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) waarin wordt gevraagd 'de mogelijkheden te onderzoeken om het gebruik van chloor als basisstof te verminderen c.q. volledig beheersbaar te maken, opdat de risico's voor de externe veiligheid worden verminderd'³. Zij sluit ook goed aan bij de strategische verkenning van het dichten van de chloorketen zoals die momenteel (1994) in Nederland op verzoek van de Vaste Commissie voor Milieubeheer van de Tweede Kamer wordt verricht. Ook in andere landen bestaat aandacht voor chloor. In februari 1994 werd in de Verenigde Staten door president Clinton als onderdeel van zijn 'Proposal for the Clean Water Act' een nationale strategie aangekondigd 'to substitute, reduce, or prohibit the use of chlorine and chlorinated compounds'⁴.

1.2 Duurzaamheid

Alvorens de bijdrage van chloor en van de chloorkemie aan duurzaamheid nader onder de loep te nemen, is het zinvol eerst enkele opmerkingen te maken over het begrip duurzaamheid zelf. Volstaan zal worden met een korte omschrijving en enkele kanttekeningen. Voor een ruimere discussie wordt verwezen naar het WRR-hoofdrapport⁵.

Het streven naar duurzaamheid komt voort uit de angst dat de mens zijn fysieke omgeving onder de voet loopt, en daarmee uiteindelijk waarschijnlijk ook zichzelf. De relatie met het milieu moet een meer houdbare invulling worden gegeven. Een dergelijke invulling vereist geen

^{3]} Nationaal Milieubeleidsplan, Tweede Kamer 1988/1989, 21137, nrs. 1 en 2.

^{4]} Het zal niemand verwonderen dat deze aankondiging binnen de chloor-industrie een flinke schok teweeg heeft gebracht. Milieu-organisaties, zoals Greenpeace, juichen de stap toe en zien daarin erkenning van het feit dat op chloor gebaseerde processen en produkten de gezondheid en het milieu ernstig bedreigen. De Vereniging van Amerikaanse Chemische Bedrijven is van mening dat een algeheel chloorverbod in strijd is met een gezonde, wetenschappelijk gefundeerde beleidsvorming (ChemFlash, Akzo Nobel Chlor-Alkali, zomer 1994).

^{5]} Duurzame risico's: een blijvend gegever, WRR, op.cit.

absolute terughoudendheid van de zijde van de mens. In een duurzame wereld is wel degelijk plaats voor de menselijke soort, maar de beïnvloeding van de omgeving moet naar aard en volume aan bepaalde grenzen worden gebonden. De ruimte binnen deze grenzen wordt wel aangeduid als de 'milieugebruiksruimte'. In de meeste moderne landen en in vele internationale samenwerkingsverbanden (EG, OECD, VN) wordt duurzaamheid als een belangrijk uitgangspunt voor beleid onderschreven.

In de Nationale Milieubeleidsplannen die in Nederland zijn gepubliceerd, wordt, in overeenstemming met de beschouwing van de Commissie-Brundtland, onder een duurzame ontwikkeling verstaan 'een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie zonder daarmee voor toekomstige generaties de mogelijkheid in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien'. Deze algemene definitie zou op de volgende manier nader kunnen worden gepreciseerd:

- *niet-vernieuwbare grondstoffen*, waaronder fossiele energiedragers, mogen niet verder worden uitgeput. Het duurzame gebruiksniveau van deze grondstoffen wordt bepaald door de toename in de produktiviteit waarmee zij kunnen worden benut en door het tempo waarin vernieuwbare substituten beschikbaar komen;
- het structurele gebruiksniveau van *vernieuwbare grondstoffen* dient de natuurlijke herstelsnelheid niet te overschrijden;
- het *emissieniveau* van schadelijke stoffen en de verandering van de natuurlijke omgeving dient zodanig te zijn dat de biotische soortenrijkdom niet wordt aangetast en de kwaliteit van het bestaan van de soorten in stand wordt gehouden.

Een precisering als boven volgt niet dwingend uit de algemene definitie van duurzaamheid. Er zijn ook andere invullingen mogelijk. Over wat een duurzame samenleving is, kan eigenlijk nog heel verschillend worden gedacht. Naast een invulling met een sterk accent op 'steady-state', is bijvoorbeeld ook een meer dynamische invulling mogelijk. Een verdere algemene besprekking van dit onderwerp valt buiten het kader van deze studie.

Bij het bewerkstelligen van duurzaamheid, wat daaronder ook moge worden verstaan, dient een brug te worden geslagen tussen toekomst en heden. Duurzaamheid later moet worden vertaald in concrete actie nu. Deze vertaling blijkt in de praktijk sterk te worden gecompliceerd door de onzekerheid van een aantal cruciale gegevens en relaties op ecologisch, technologisch, economisch en maatschappelijk gebied. Zo is bijvoorbeeld de kennis over de schadelijke effecten van specifieke emissies in de meeste gevallen nog uiterst gebrekkig. Ook bestaat er, op een geheel ander niveau, nogal wat onzekerheid over het zelfregulerende vermogen van 'de markt' en over het vermogen van de overheid om marktimperfecties - waaronder het falen van de markt om externe produktie-effecten voldoende mee te nemen - te corrigeren. Weer een andere onzekerheid is wat, bij gegeven eigen actie, andere individuen, groepen of landen zullen doen. Een zaak die bijvoorbeeld niet onbelangrijk is als het gaat om het bepalen van de optimale nationale beleidslijn. Op veel relevante gebieden en op verschillende niveau's bestaan onzekerheden. Er is bij duurzaamheid, naast een zeker definitiekort, sprake van een aanzien-

lijk informatie- en kennistekort. Deze studie beoogt dit tekort voor chloor voorbeeldsgewijs zichtbaar te maken, suggesties te doen om het tekort te verminderen en globaal aan te geven hoe met overblijvende onzekerheid zou kunnen worden omgegaan.

1.3 Opzet van de studie

De opbouw van de studie is als volgt. In *hoofdstuk 2* worden eerst enkele algemene aspecten van de inzet van chloor besproken. Hierbij wordt ook gekeken naar dat deel van chloor dat als hulpstof dient en niet in de vorm van chloorhoudende produkten de chemische industrie verlaat. In dit hoofdstuk staat het economische belang van chloor centraal.

In *hoofdstuk 3* worden de milieu-effecten nader besproken. Het hoofdstuk heeft de functie van een algemene plaatsbepaling. De bespreking is, evenals die in hoofdstuk 2, kort en globaal.

In *hoofdstuk 4* wordt de dynamiek in het gebruik van chloor nader onder de loep genomen. Naast ontwikkelingen in procesvoering en transport, richt de aandacht zich op een viertal chloorhoudende produkt/stofgroepen: polyvinylchloride (PVC), chloorhoudende bestrijdingsmiddelen, chloorfluorkoolwaterstofverbindingen (CFK's) en gechloreerde dioxinen en furanen. Bij de eerste twee gaat het om stoffen die momenteel ruim worden gebruikt en economisch van groot belang zijn, bij de derde om stoffen die vroeger belangrijk waren, maar die zich nu in een overgangsfase naar eliminatie bevinden en bij de vierde om ongewilde blijprodukten van sommige chloorhoudende processen of activiteiten, zowel binnen als buiten de industrie. Een verdere motivering van de keuze wordt ter plekke gegeven. Hoofdstuk 4 is beschrijvend en heeft de functie als referentiekader voor de daaropvolgende hoofdstukken.

Hoofdstuk 5 is bedoeld als illustratie van de grote onzekerheid die nog bestaat als het gaat om een duurzame inzet van chloor. Terwijl in hoofdstuk 4 een zo objectief mogelijke beschrijving van zekerheden en onzekerheden centraal stond, wordt in hoofdstuk 5, daar waar sprake is van tegenstrijdige of multi-interpretabele informatie, een subjectieve keuze gemaakt. Door uiteenlopende keuzes te schetsen, wordt de ruimte verkend die wordt gedoogd door de algemene definitie van duurzaamheid en die niet in strijd is met algemeen geaccepteerde wetenschappelijke inzichten van dit moment. Bij het nastreven van duurzaamheid blijken vooralsnog zeer verschillende wegen te kunnen worden ingeslagen, zowel met een grote als met een lage inzet van chloor. Voor een praktische beschrijving van deze wegen - in de studie ook wel handlingsperspectieven of posities genoemd - worden de onderwerpen van hoofdstuk 4 gebruikt. Conform de aanpak van de gehele WRR-studie, zijn de weergegeven posities analytische constructies die niet de pretentie hebben de opvattingen van verschillende partijen in de chloordiscussie weer te geven. Het enige doel is het demonstreren van de onzekerheid die in wetenschappelijk opzicht nog bestaat.

In *hoofdstuk 6* wordt getracht te komen tot een synthese. Een centrale boodschap van de studie is dat de onzekerheid veel groter is dan in de discussie rond chloor veelal wordt aangenomen. Er is sprake van een aanzienlijke (selectieve) verdringing van onzekerheid. Deze verdringing laat ook het beleid, zowel van de overheid als van de industrie, niet ongemoeid. Zo vertoont het bestaande beleid trekken van een enigszins obsolete opvatting over de kenbaarheid van de economie, het milieu en de samenleving. Aan de wetenschap wordt in de besluitvorming geen adequate rol toebedeeld. Op sommige gebieden zijn de verwachtingen ten aanzien van het 'oplossend vermogen' van de wetenschap veel te hoog gespannen, terwijl op andere gebieden de wetenschap een grotere rol zou kunnen spelen. De positivering in de

chloordiscussie wordt door dit alles ongewild instandgehouden. Om goed te kunnen omgaan met onzekerheid is niet zozeer essentieel nieuw beleid nodig, maar veleer dienen bestaande beleidsinstrumenten in een andere slagorde te worden gezet. Evenwichtige verdeling van het risico van onzekerheid, omkering van bewijslast (verschuiving van 'schadelijkheidsbewijs door de overheid' naar 'onschadelijkheidsbewijs door de industrie') en verhoging van flexibiliteit zijn daarbij belangrijke bakens. Deze en enkele andere zaken worden in hoofdstuk 6 nader uitgewerkt.

Het is goed te benadrukken dat, alhoewel meermalen expliciet aan de toestand in Nederland wordt gerefereerd, de bespreking niet uitsluitend of speciaal betrekking heeft op Nederland. Het gaat om een algemene beschouwing die, zo is bedoeling, ook voor het gebruik van chloorelders relevant is.

De voorliggende studie over chloor is eind 1992 gestart. Een conceptversie van de studie is voor commentaar aan diverse personen voorgelegd. Met hun commentaar is bij de verdere invulling van de studie zo goed mogelijk rekening gehouden. De tekst en alle onvolkomenheden daarin komen uitsluitend voor rekening van de schrijver.

De auteur is een ieder die op constructieve wijze commentaar heeft geleverd zeer erkentelijk. Met name gaat dank uit naar ir. G.J. Alders (Akzo Nobel), drs.ir. R.W. Baars (Rovin), mw.drs. W. Berends (Zuidhollandse Milieufederatie), ir. B. de Boer (CBS), mw.ir. R. Bras (TU Delft), drs. H. Flier (Akzo Nobel), dr.ir. J.J.T.M. Geerards (VNO/NCW), dr. R. Hueting (CBS), drs. A. Klingenberg (Stichting Natuur en Milieu), ir. R.M.J. van der Meer (Akzo Nobel), ir. J. Meersseman (Solvay Nederland), ir. W.C.J. Quick (VNCl), prof.dr. L. Reijnders (Stichting Natuur en Milieu), drs. R.W.P. Steur (EZ), prof.dr.ir. D. Thoenes (TU Eindhoven), ing. H.J.I. Venner (Vereniging Milieudefensie), prof.dr. Ph.J. Vergragt (TU Delft), ir. J.A. Wesseldijk (Akzo Nobel), ir. H.L.J.M. Wijnen (VROM) en drs. B.J. Witmond (EZ) .

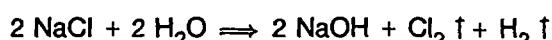
2 ASPECTEN VAN CHLOORGEBRUIK

2.1 Produktie van chloor

Chloor is een belangrijke grondstof voor de produktie van materiële goederen: naar gewicht gerekend staat het op dit moment (mondiaal) op de 9e plaats⁶. Het wordt reeds sinds het begin van de vorige eeuw produktief toegepast en het speelt ook bij vele moderne industriële activiteiten een cruciale rol. Er is momenteel bijna geen industriële activiteit waar niet direct of indirect chloor aan te pas komt. Vele finale produkten bevatten chloor of gebruiken bij hun produktie chloor als hulpstof. Voorbeelden zijn te vinden onder produkten als kunststoffen (PVC), siliconen, dispergeermiddelen voor verf op waterbasis, wasverzachters, oplosmiddelen, isolatiemateriaal, rioolbuizen, infuuszakken, geneesmiddelen, bestrijdingsmiddelen en zo voorts. Elementair chloor is chemisch zeer reactief, hetgeen in de praktijk betekent dat er gemakkelijk een breed scala van soms zeer stabiele verbindingen mee kan worden gemaakt. Van de ruwweg 70.000 regelmatig gebruikte chemische verbindingen zijn ongeveer 10% halogenverbindingen, voornamelijk met chloor⁷.

2.1.1 Verschillende produktietechnieken

De produktie van chloor is momenteel vooral gebaseerd op elektrolyse - ontleding door elektrische stroom - van in water opgelost natriumchloride ('keukenzout'). Bij dit proces treedt de volgende chemische reactie op:



Een belangrijk aspect van het elektrolyseproces is dat uit ruim voorradige grondstoffen verbindingen worden gemaakt die alle goed bruikbaar zijn. Zo wordt natronloog (NaOH-oplossing in water) gebruikt voor de produktie van papier en cellulosederivaten, van metalen zoals aluminium, van zepen en schoonmaakmiddelen en van nog vele andere anorganische en organische chemische produkten. Het waterstof dat bij de elektrolyse vrijkomt, kan worden gebruikt voor hydrogeneringsprocessen, zoals het harden van vetten, met chloor worden omgezet tot (zeer zuiver) zoutzuur of worden gebruikt voor energieopwekking.

Bij elektrolytische produktie van chloor zijn drie basisprocessen in gebruik: kwik-elektrolyse, diafragma-elektrolyse en membraan-elektrolyse. Het kwik- en het diafragmaproces bestaan al meer dan een eeuw (diafragma 1886, kwik 1892). Zij hebben als nadeel het gebruik van milieubelastende hulpstoffen (met name kwik, respectievelijk asbest). Het meer recente, voor het eerst in Japan ontwikkelde membraanproces - gebaseerd op een ionselectief kunststofmembraan - heeft dit nadeel niet. De produktiemethoden in Nederland zijn relatief modern.

⁶] B.P. Hageman, 'Aardwetenschappen in de branding', De Ingenieur, juni 1985, 38-41.

⁷] Veel interessante informatie over chloor en daaruit afgeleide produkten kan worden gevonden in Chemische Feitelijkheden, uitgave Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (KNCV), bijv. de nrs. 015, 018 en 037.

De verdeling van de produktie over de verschillende processen was in Nederland in 1991 als volgt: kwik 34%, diafragma 18% en membraan 48%. In geheel West-Europa is deze verdeling: kwik 70%, diafragma 25% en membraan 5%⁸.

De opkomst van elektriciteit als energiebron en daaraan gekoppeld de introductie van elektrolyseprocessen in de tweede helft van de vorige eeuw, heeft de beschikbaarheid van chloor sterk doen toenemen. Deze ruime beschikbaarheid in termen van hoeveelheid en prijs heeft een belangrijke rol gespeeld in het ontstaan van de huidige organische chemie. Het chemisch zeer reactieve en selectief werkende chloor maakte het mogelijk de vrij inerte derivaten van kolen en aardolie op efficiënte wijze aan te pakken en te transformeren in bruikbare produkten. Mede in dat historische licht bezien, is de huidige prominente plaats van chloor niet verwonderlijk.

2.1.2 *Koppeling van chloor en natronloog*

De produktie van chloor en de produktie van natronloog zijn, bij gebruik van genoemde elektrolyseprocessen, aan elkaar gekoppeld. Per ton chloor ontstaat 1,13 ton natriumhydroxyde (NaOH). Genoemde koppeling speelt een rol in de chloordiscussie. Zo wordt wel de vraag gesteld wat nu eigenlijk de drijvende kracht is: de behoefte aan chloor of de behoefte aan natronloog? Was, zoals wel eens wordt beweerd, chloor eigenlijk van origine een bijproduct van de produktie van natronloog? Een bijproduct dat vervolgens via intermediaire en eind-produkten werd 'geloosd'? Deze vragen zijn niet zo eenvoudig te beantwoorden. De economische structuur heeft zich zodanig ingericht dat zowel chloor als natronloog grosso modo volledig worden gebruikt. Intiële drijvende krachten worden door deze volledige benutting gemaskeerd: onderscheid naar hoofd- en bijprodukten heeft nauwelijks meer zin. Hoe de situatie in het verleden ook was, nu kan in ieder geval worden gesteld dat chloor op dit moment in de chemische produktie zo'n centrale plaats inneemt dat het een ontkenning van de realiteit zou zijn chloor een bijproduct te noemen.

Door conjuncturele wisselingen in de economie kunnen tijdelijk tekorten of overschotten ontstaan. Soms geldt dat voor chloor, in andere tijden geldt dat voor natronloog. Zo lijkt, mede gelet op prijsontwikkelingen, aan het eind van de jaren 80 meer vraag te hebben bestaan naar loog. In de jaren 1992 en 1993 was echter, althans op wereldniveau, chloor schaars en kende loog een overaanbod. De conjuncturele bewegingen in het aanbod en de vraag naar chloor en natronloog vertonen enige systematiek, zie tabel 2.1.

Een interessante vraag is wat de gevolgen zouden zijn van een structurele vermindering van de inzet van (maagdelijk) chloor. Een vermindering die zou kunnen worden afgedwongen door marktontwikkelingen, maar ook door overheidsoptreden. Zouden er dan, gegeven de huidige koppeling tussen natronloog en chloor, problemen ontstaan bij alkali-toepassingen? De volgende zaken zijn in dit kader van belang. In tabel 2.1 is zichtbaar dat voor een aantal toepassingen van natronloog niet alleen in theorie goede substituten bestaan, maar dat deze ook nu reeds snel (kunnen) worden ingezet. Als de prijs van natronloog teveel stijgt, dan wordt overgegaan op andere alkali. De mogelijkheden van snelle overgang zijn afhankelijk van de

⁸

Chloor en de samenleving, de rol van Akzo, Zout en Basischemie Divisie, Akzo, 1991.

alkali-toepassing in kwestie. In slechts enkele gevallen is natronloog op korte termijn moeilijk te vervangen. Voor de wat langere termijn kan rekening worden gehouden met verruiming van de mogelijkheden door efficiënter gebruik van natronloog, door structurele aanpassing van productieprocessen waardoor een grotere inzet van andere alkali's mogelijk wordt (zoals kalk, soda, magnesiumhydroxyde en dolomiet) en door alternatieve produktieroutes voor natronloog, bijvoorbeeld via de 'soda-route'. Op verschillende plaatsen in de wereld wordt onderzoek gedaan naar de technische, economische en ecologische aspecten van deze vernieuwingen. Er zijn geen indicaties dat een enigszins geleidelijke, en uiteindelijk mogelijk drastische vermindering van de chloorproduktie onoverkomelijke problemen aan het alkali-front zal oproepen.

Tabel 2.1 De economische conjunctuur en de vraag naar chloor en natronloog

fase	chloor	natronloog
algemeen	vraag ligt ongeveer 1/2 jaar voor op ontwikkeling van BNP	vraag is ongeveer in fase met ontwikkeling van BNP
aanloop tot hoogconjunctuur	stijging van vraag geeft verhoging van prijzen	vraag volgt die van chloor nog niet, prijzen dalen, voorraden lopen op
hoogconjunctuur	vraag stabiel tot overspannen, prijzen optimaal, investering in capaciteitsuitbreiding	vraag stijgt, prijzen verbeteren tot zeker niveau, verdere prijsstijging zou leiden tot verlies van marktaandeel aan alternatieven (soda, kalk etc.)
daling conjunctuur	vraag daalt, neerwaartse druk op prijzen	aanbod daalt, tijdelijk overspannen markt, prijs gefixeerd op niveau bepaald door concurrentie alternatieve alkali
dal van cyclus	vraag minimaal, prijzen minimaal, overcapaciteit, marges op chloor sterk onder druk door hoge vaste kosten	vraag daalt, prijzen dalen soms tot zeer laag niveau (op spotmarkt zijn verschillen tussen maximum en minimum van een factor 10 of meer mogelijk)

Bron: WRR, op basis van gegevens verstrekt door Akzo Nobel.

In het voorgaande ging het vooral om technische en economische aspecten. Daarnaast zijn natuurlijk milieu-aspecten van belang. Ook alternatieve alkali's of alternatieve routes van de produktie van natronloog brengen een zekere belasting van het milieu met zich mee. Op basis van de huidige kennis kan niet worden uitgesloten dat deze, bij gelijke inspanning voor kringloopsluiting, groter zal zijn dan bij natronloog dat samen met chloor wordt geproduceerd. Dit aspect dient bij een discussie over de wenselijkheid van vervanging van chloor te worden meegenomen.

2.1.3 Enkele economische gegevens

Over de gehele wereld genomen werd in 1990 ongeveer 40 miljoen ton aan chloor geproduceerd. West-Europa nam daarvan bijna 10 miljoen ton voor haar rekening (27%). In Nederland werd ruim 650.000 ton aan chloor geproduceerd, hetgeen overeenkomt met 1,6% van de wereldproduktie.

Tabel 2.2 Mondiale verdeling van de produktie van chloor (1990)
(in procenten van wereldproduktie, 100% = 40 miljoen ton)

Noord-Amerika	32		West-Duitsland	9,2
West-Europa	27		Frankrijk	3,8
Oost-Europa	20		Engeland	3,5
Oost-Azië en Oceanië	13		Italië	3,0
Centraal- en Zuid-Amerika	6		Benelux	3,0
Afrika	1		Scandinavië	2,7
Midden-Oosten	1		Spanje/Portugal	1,9
			Nederland	1,6

Bron: WRR, gegevens uit *Chemisch Magazine*, februari 1991, 75.

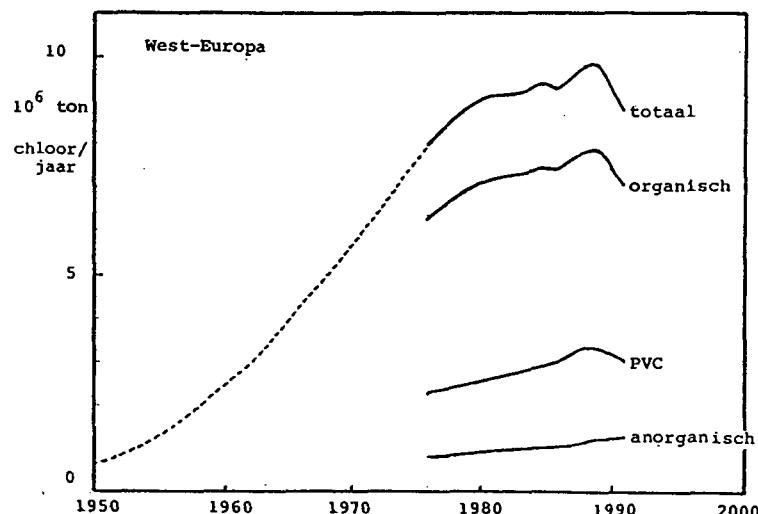
De chloorproduktie in Nederland is in bedrijfsmatig opzicht sterk geconcentreerd: zij komt voor ruim 70% voor rekening van een enkel bedrijf (Akzo Nobel). Solvay Nederland neemt 22% voor haar rekening en GEP 7% (1990). West-Europa telt ongeveer 50 chloorproducenten met ruim 100 fabrieken. De grootste chloorproducent ter wereld is Dow Chemical Co. (VS) die meer dan 10% van de gehele wereldproduktie verzorgt.

De produktie van chloor is sinds de tweede wereldoorlog sterk toegenomen. Zo is de West-Europese produktie in de periode van 1950 tot 1975 gestegen van bijna 600 kton naar 7500 kton per jaar: een jaarlijkse groeivoet van 11%. Het laatste decennium is in West-Europa een zekere stabilisatie opgetreden. In recente jaren was zelfs sprake van een snelle terugval. Alhoewel de nieuwste gegevens doen vermoeden dat deze terugval grotendeels slechts tijdelijk is, zijn er wel structurele ontwikkelingen die een drukkende invloed hebben op de produktie van

(maagdelijk) chloor. Gewezen kan worden op de toenemende recycling van chloor, waterstofchloride en diverse intermediaire en eindprodukten (zoals perchloorethyleen, methylenchloride en polyvinylchloride), op de vervanging van sommige chloorhoudende produkten en op de verschuiving van produktiecapaciteit naar andere delen van de wereld.

Binnen de chloor-industrie bestaat momenteel (1994) vrij algemeen de verwachting dat de chloorproduktie de komende jaren mondiaal met ruwweg 1% per jaar zal groeien. Voor Zuid-Oost Azië en Oost-Azië wordt gerekend op respectievelijk 6% en 3%. Voor West-Europa wordt rekening gehouden met minder hoge groeiwijfers, waarbij zelfs een negatieve groei niet wordt uitgesloten. Het spreekt voor zich dat dergelijke groei verwachtingen nogal vluchtig van karakter zijn. Structurele verwachtingen zijn vaak sterk conjunctureel gebonden. Waar het hier om gaat, is dat uit de gegeven cijfers blijkt dat in de mondiale verdeling van de produktie van chloor en van chloorprodukten aanzienlijke structurele verschuivingen worden verwacht. De eerste tekenen van deze verschuiving, vooral naar Azië, zijn reeds zichtbaar. West-Europese bedrijven spelen daarbij overigens geen onbelangrijke rol.

Figuur 2.1 De produktie van chloor in West-Europa



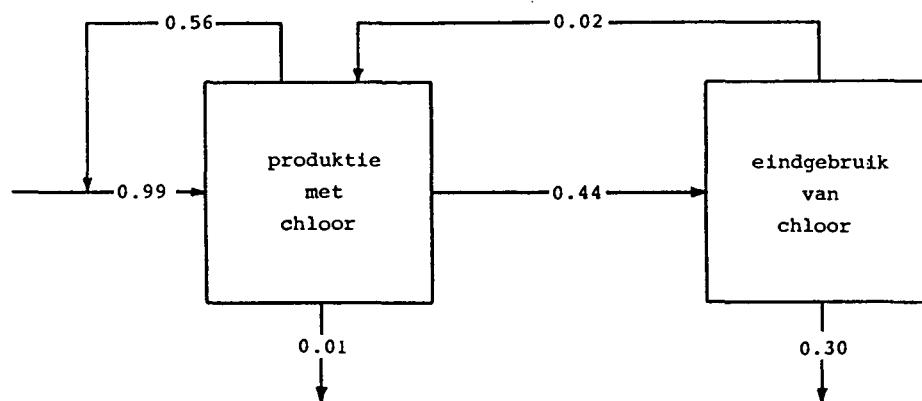
Bron: WRR, op basis van informatie van diverse producenten, bestemming inclusief de toepassing van chloor als hulpstof (zie tekst).

In West-Europa is het gebruik van chloor op dit moment ongeveer 34 kg/capita en in de Verenigde Staten 40 kg/capita. Gemiddeld over de gehele wereld is echter sprake van 8 kg/capita. Vergroting van dit laatste getal tot het niveau van economisch ontwikkelde landen zou een wereldproductie van chloor betekenen die een factor 4 à 5 hoger is dan nu, afgezien van de extra opwaartse druk door een groeiende wereldbevolking tussentijds. Het is nog onduidelijk in hoeverre landen met een relatief laag chloorgebruik per capita voor wat betreft dat verbruik eenzelfde ontwikkelingstraject zullen doorlopen als de ontwikkelde landen.

2.2 De chloortyclus

Voor een goede discussie van de chloorproblematiek is het zinvol onderscheid te maken tussen produkten die zelf chloor bevatten en produkten die chloorloos zijn maar bij hun productie chloor vereisen. Voorbeelden van de laatste zijn epoxyharsen, polycarbonaten, siliconen, polyurethanen, titaan-oxyde, verfstoffen en een aantal farmaceutische produkten. Ruim de helft van de totale chloorproduktie wordt momenteel ingezet als hulpstof, hetgeen betekent dat minder dan de helft van het chloor via intermediaire of finale produkten de chemische industrie verlaat. Een schematisch overzicht van chloorstromen (West-Europa, 1991) wordt gegeven in figuur 2.2. In deze figuur vallen in het vakje 'produktie' alle industriële activiteiten waarbij chloor als bouw- of als hulpstof doelbewust voor chemische synthese wordt ingezet. De zoutwinning valt er dus niet onder. Onder het eindgebruik vallen niet alleen consumptieve activiteiten, maar bijvoorbeeld ook de toepassingen van chloorhoudende oplosmiddelen door niet-chemische bedrijven.

Figuur 2.2 Chloorstromen in West-Europa (1991)
(synthetische produkten)



Bron: WRR, onder meer op basis van informatie gegeven tijdens het *Third Global Chlor-Alkali Symposium*, Monaco, 1992.

Van de totale hoeveelheid chloor die in West-Europa in 1991 werd gebruikt, kwam 56% weer vrij in de vorm van waterige oplossingen van chloriden, voornamelijk natriumchloride (NaCl) en calciumchloride (CaCl_2). Deze stoffen werden hergebruikt of geloosd⁹. Ongeveer 44% van het geproduceerde chloor werd opgesloten in chloorhoudende produkten toegeleverd aan niet-

⁹ De schadelijkheid van de lozing van NaCl - en CaCl_2 -oplossingen wordt bepaald door de plaats en de omstandigheden van lozing. In zeewater kan de lozing nauwelijks kwaad. Bij lozing op rivieren kan dat anders liggen. De chloorindustrie is voor ruwweg 30% van de chloride-vracht van de Rijn verantwoordelijk (gemeten aan de Nederlandse grens). Verder dient te worden opgemerkt dat de chloriden-oplossing vaak is verontreinigd met andere stoffen, waaronder organochlorinen.

chemische bedrijven of aan de consument. Bij de chemische produktie kwam van het gebruikte chloor ongeveer 1% vrij in de vorm van afval. Dit afval, dat naast organochloorkomplexen ook nog chloriden bevat, werd geloosd of op gecontroleerde wijze gestort. Wat er bij de eindgebruiker gebeurde, is minder bekend. Van de 44% werd een substantieel deel - tussen 20 à 30% - gecumuleerd, voornamelijk in de vorm van lang-cyclische goederen (zoals PVC-pijpleidingen en -raamkozijnen). Er was een terugstroom van chloor van ongeveer 2% naar de industrie en een uitstroom, deels bestaande uit eerder bij de eindverbruiker gecumuleerd chloor, van ruwweg 30% naar lucht, water en bodem. Zoals bij economische groei te verwachten is, neemt de hoeveelheid gecumuleerd chloor bij de eindverbruiker toe. De gegeven getallen vormen slechts een momentopname. De terugstroom stijgt, terwijl de emissiepercentages van 1% en 30% de tendens hebben te dalen.

2.3 Toepassingen van chloor

Zoals gesteld, kent chloor momenteel veel toepassingen. In voorgaande pagina's zijn daarvan reeds een aantal voorbeelden gegeven. In deze paragraaf zal nog iets verder op de verschillende toepassingen worden ingegaan. Een algemeen overzicht volgt in tabel 2.3.

Tabel 2.3 Globaal overzicht van chloortoepassingen (wereld, 1990)

<u>produktieaandeel</u>	<u>categorie</u>	<u>voorbeelden</u>
24%	Kunststoffen	polyvinylchloride (PVC, polyvinylidenechloride)
19%	organochloorplosmiddelen	trichloorethylen, perchloorethylen, 1,1,1-trichloorethaan, methyleenchloride
5%	aromatische chloorkomplexen	insekticiden, herbiciden, kleurstoffen, medicijnen, dichloorbenzenen
2%	chloorfluorkoolwaterstoffen	CFK-11, -12, -22, -113, HCFC's
31%	overige organische stoffen	epoxyharsen, polycarbonaten, polyurethanen, siliconen, weekmakers, kleurstoffen
6%	bleek- en desinfectiemiddelen	natriumhypochloriet
13%	overige anorganische stoffen	zoutzuur, titaandioxide calcium-, ijzer- en aluminiumchlorides

Voorgaande tabel maakt nog niet geheel duidelijk in welke finale produkten de genoemde verbindingen worden verwerkt en voor welke consumptieve functies zij worden ingezet. Om daar meer zicht op te krijgen, wordt hieronder voor een aantal categorieën, in dit geval finale verkooppunten, een opsomming gegeven van produkten die met chloor zijn gemaakt¹⁰. De opsomming is niet volledig.

<i>apotheek</i>	sulfonamides, tetracyclinen, synthetische penicillines, vitamine C, trimethoprim, cephalexin, micanazol, spironolacton (chloor als hulpmiddel), chloroquine, furosemide, amiloride, clotrimazol, chlomocycline, demecocycline, chloortetracycline, chloromycethine (chloor als bouwstof);
<i>supermarkt</i>	ontsmettingsmiddel (bleekwater), afwasmiddel (zeep), rietjes (PVC), luiers, (absorptie-, versterkings- en bleekmiddel), voer voor huisdieren (choline chloride (vitamine)), drinkyoghurt, via en chocolademelk (verdikkingsmiddel), waspoeder (TAED, vulstof), wasverzachter, frisdrank (PVC), sladressing (verdikkingsmiddel);
<i>doe-het-zelf-zaak</i>	kunststofparket en -schroten (PVC), behangplaksel (lijmstof), witte verf (pigment), isolatieschuim, baksteen (verdikkingsmiddel bij produktie), cement (versneller voor harding), lijmen (epoxyharsen), elektriciteitskabels en isolatietape (PVC-mantel), siliconenkit, plakband (rug PVC), kunststofbuizen (PVC), handgrepen gereedschap (PVC), golfplaten en raam- en deurkozijnen (PVC);
<i>warenhuis</i>	braadpan (anti-aanbaklaag van Teflon), huidverzorgende produkten (glycerine, pigment, verdikkigs- en conservermiddel), laarzen (PVC), regenpak (waterafdichtende laag PVC of PU), scheercrème (zeep), zuigflessen (PC), tuinslang met verbindingsstukken (PVC), accessoires auto (PVC, PU, PC), deodorant (bacteriedoder), tandpasta (verdikkingsmiddel, witte kleurstof), waslijn (PVC), speelgoed (PVC);
	tennisracket (versterkingsvezels en epoxyharsen), sportkleding (garen PVC), fietshelm (buitenhelm PVC), ski's (versterkingsvezels en epoxyharsen, PC), skistokken (handvatten PVC), skischoenen (PU), sportschoenen (zolen PU), kano (epoxyharsen en versterkingsvezels),

¹⁰ Chloor in perspectief, Euro Chlor Federation, 1992; Chloor, onmisbaar in het dagelijks leven, Akzo Zout en Basischemie Divisie, 1992.

sportzaak

skibril (montuur PU, venster PC), tent (waterafstotende laag PVC), luchtbed (PVC), sportbal (PVC), surfplank (kern PU schuim), hockeystick (PC en versterkingsvezels), fiets (beschermende verfsystemen), binnenband fiets (butylrubber);

elektro-speciaalzaak

televisie (behuizingsdelen PC), audiorack (omkasting PVC), printplaat (epoxyharsen), floppy disk (PVC), batterijen (chloridezouten), koelkast en gasformuls (epoxyhars, wit pigment, koelvloeistof, motorsteunen PC), stekkers en stopcontact (PC), wekkerradio (behuizingsdelen PC), handmixer (behuizing PVC), koffiezetterapparaat (isolerende warmhoudblad PC), stoomstriklijzer (waterreservoir PC, zool Teflon), stofzuiger (slang en zuigmond PVC), scheerapparaat (behuizing PC), CD's (PC).

PVC: polyvinylchloride (bevat chloor)

PU : polyurethaan (chloorloos, chloor als hulpstof bij produktie)

PC : polycarbonaat (chloorloos, chloor als hulpstof bij produktie)

Bovenstaand overzicht geeft een indruk van de ruime verspreiding van de produkten van de chloor-industrie. Niet te ontkennen valt dat de huidige economie voor een groot deel wordt gedragen door chloor. Het ruime gebruik van chloor kan worden gezien als een uiting van de technische en economische voordelen die chloorprodukten in de ogen van producent en consument vaak hebben. Dit betekent echter niet dat voor genoemde finale produkten of consumptieve functies de inzet van chloor volstrekt onvermijdelijk is. Voor veel produkten of functies geldt dat ook andere materialen worden ingezet of, zeker op termijn, zouden kunnen worden ingezet. Raamkozijnen worden bijvoorbeeld niet alleen van PVC gemaakt. Voor PVC-folies kunnen vaak ook folies van andere kunststoffen worden gebruikt. Bij koelvloeistoffen is, voor de meeste toepassingen, sprake van meer en meer chloorloze alternatieven. Zelfs een fundamentele procesfunctie als het desinfecteren van drinkwater kan, daar waar weinig kans is op recontaminatie met micro-organismen, ook op chloorloze wijze goed worden vervuld (ultrafiltratie, ozon, UV).

Ter completering van deze paragraaf volgt in tabel 2.4 nog enige informatie over de toepassingen van het co-produkt natronloog.

Tabel 2.4

Het gebruik van natronloog in West-Europa
(hoeveelheid in 100% NaOH, 1991)

<u>toepassing</u>	<u>hoeveelheid</u> kton	<u>aandeel</u> %
• zepen, ontvetters, schoonmaakmiddelen	412	5,0
• minerale oliën en derivaten	120	1,5
• textielbehandeling	96	1,2
• produktie anorganische stoffen	2.070	25,2
• produktie organische stoffen	2.310	28,1
• metallurgie	351	4,3
• vezelproduktie	325	4,0
• pulp, papier en cellulosederivaten	1.103	13,4
• voedselindustrie	227	2,8
• waterbehandeling	343	4,2
• overig	854	10,4
totaal	8.211	100,0

Bron: WRR, op basis van gegevens van verschillende producenten.

Natronloog wordt voor ruim de helft toegepast in de chemische Industrie (53,3%). Bij de resterende fractie gaat het grotendeels om andere industriële activiteiten.

3 MILIEU-EFFECTEN

Aansluitend bij de gebruikelijke thema's van de discussie over duurzaamheid, is het zinvol aan de volgende aspecten aandacht te geven:

- energieverbruik, met name het beslag op schaarse energiedragers;
- grondstofgebruik, in het bijzonder het verbruik van uitputbare en moeilijk recycleerbare grondstoffen;
- vervuiling (verspreiding en aantasting), waarbij het gaat om dimensies als:
 - beïnvloeding van biologische en fysische processen
 - persistentie
 - cumulatief gedrag
 - transformatie in schadelijke volgprodukten
 - vergroting van verstoringsgevoelighed

De bovenstaande punten hier kort en globaal worden besproken. Voor een uitvoiger beschouwing op onderdelen wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

3.1 Energieverbruik

In 2.1.1 werd aangegeven dat de basisstof chloor op dit moment vrijwel uitsluitend door middel van elektrolyse van keukenzout wordt gemaakt. Het betreft hier processen die naar hun aard redelijk veel energie vragen. Voor het membraanproces is dat ongeveer 3000 kWh per ton chloor en voor het kwikproces 3200 kWh¹¹. Dit zijn recente cijfers voor Nederland (1992). In de literatuur worden voor het diafragma- en het kwikproces ook wel hogere waarden gemeld, oplopend tot bijna 4000 kWh per ton chloor. Verschillen in schaalgrootte, jaargang van de beschouwde installatie, zorgvuldigheid van procesvoering, mate van automatisering, concentratie van het afgeleverde loog en ook wel de wijze en de nauwkeurigheid van berekening lijken hier een rol te spelen. Een bijna 30% hoger energieverbruik per gewichtseenheid chloor is, gegeven de dominantie van de energiekosten en de sterke concurrentie, onder de huidige marktomstandigheden van moderne economieën vrijwel prohibitief.

Ongeveer 25% van het elektriciteitsverbruik van de Nederlandse chemische industrie hangt samen met zout-elektrolyse. Dit is, gelet op de directe nominale bijdrage aan de produktiewaarde, relatief hoog. Door het sterk reactieve karakter van chloor is het echter in veel gevallen mogelijk minder energie te gebruiken verderop in de produktieketen, hetgeen het hoge gebruik in het begin meer dan eens overcompenseert. Zo is bijvoorbeeld de totale energieinhoud - procesenergie plus de nog benutbare energie die is opgeslagen in het gebruikte materiaal - van polyvinylchloride (PVC) lager dan die van potentieel alternatieve kunststoffen, zoals polyethyleen

¹¹ Het kwik(amalgaam)proces vraagt meer elektrische energie, maar levert een hogere concentratie natronloog. Bij de diafragma- en de membraantechnologie is een aanzienlijke hoeveelheid stoom nodig om de loogoplossing te concentreren. Bij gebruik van warmte-krachtkoppeling kan daarin, vrijwel zonder extra inzet van energie, worden voorzien. Er wordt momenteel gewerkt aan membranen die een hogere concentratie natronloog opleveren.

(PE) en polypropyleen (PP). Dit geldt per gewichtseenheid en vaak ook per functionele eenheid, bijvoorbeeld per fles. De waarden die door verschillende auteurs worden genoemd, lopen overigens wel behoorlijk uiteen. Op het energieverbruik van kunststoffen, waaronder PVC, wordt in 4.2 nader teruggekomen.

3.2 Grondstofgebruik

Een voordeel van het gebruik van chloor is dat de voorraden menselijk gesproken onuitputbaar zijn. In de oceanen bevindt zich 50.000.000 miljard ton natriumchloride, terwijl ook op land grote voorraden bekend zijn. In de natuur komt het element chloor vaker voor dan koolstof, het basiselement van leven. De economische beschikbaarheid van grondstoffen is een functie van de aanwezigheid daarvan en van de inspanning die moet worden verricht om ze bruikbaar te maken. Bij chloor is de aanwezigheid geen enkel probleem, maar ten aanzien van de inspanning moet worden gewezen op de relatief grote hoeveelheid energie die voor elektrolyse nodig is. De beschikbaarheid van chloor is vooral een zaak van energie (en kapitaal). Zie verder 3.1.

3.3 Vervuiling

Chloorverbindingen vertonen zeer uiteenlopende eigenschappen. Zo bestaan er stoffen die op zich nauwelijks gevaar opleveren, maar er zijn ook stoffen die reeds bij blootstelling aan enkele microprogrammen voor mens of dier bijzonder schadelijk zijn¹².

3.3.1 Beïnvloeding van biologische en fysische processen

Chloor(gas) zelf is agressief: bij lage doses leidt het tot irritatie van slijmvliezen en huid (~ 1 ppm), bij hoge doses is het snel letaal (~ 250 ppm, 30 minuten). Met bepaalde stoffen (zoals waterstof, acetyleen, ammoniak, fosfor, metaalpoeders) kan chloorgas zeer explosieve mengsels vormen. Intensief zonlicht is soms al voldoende om deze mengsels te ontsteken. Door de hoge reactiviteit komt chloor in de natuur in ongebonden vorm nauwelijks voor. Bij verhitting van chloorhoudende produkten kunnen wel chloorgas-en-andere chloorverbindingen vrijkomen.

Er zijn indicaties dat verschillende organochloorverbindingen bij chronische blootstelling voor mens en/of dier mutageen, kankerverwekkend of kankerbevorderend, teratogeen, immuunstel-selonderdrukkend of anderszins systeem- of orgaan-aantastend zijn. In hoeverre bij deze stoffen drempelwaarden bestaan waar beneden geen schadelijke effecten meer optreden, is nog onduidelijk.

¹² Een voorbeeld van deze verscheidenheid is het verschil in acute giftigheid tussen keukenzout (NaCl) en de gechloreerde dioxine 2,3,7,8-TCDD. Levensbedreigende acute verschijnselen treden bij keukenzout pas op bij een gewichtsdosis die ruwweg een factor 4.000.000 groter is dan bij genoemde dioxine (orale inname door de mens). Keukenzout is overigens niet ongevaarlijk. Bij gebruikelijke inname leidt het bij de mens meer dan eens tot hypertensie. De oversterfte die daardoor vrijwel zeker wordt veroorzaakt, is vermoedelijk veel en veel groter dan die eventueel door dioxinen. De aanwezigheid van het element Na is hiervoor bepalend, en niet Cl. Verder moet erop worden gewezen dat de aanwezigheid van keukenzout in huishoudelijk afval bijdraagt aan de uitstoot van dioxinen bij verbranding. Dit laatste hangt wel samen met Cl.

Sommige fysische processen, zoals de vorming van de stratosferische ozonlaag, lijken door de aanwezigheid van chloor sterk te worden beïnvloed. Zo is de aanwezigheid van slechts enkele p.p.b.v (parts per billion volume) chloor, naar vrij algemeen wordt aangenomen, voldoende om de stratosferische ozonlaag ernstig te beschadigen.

3.3.2 Persistentie

Chloor is, zoals gesteld, een reactief element dat snel binding aangaat met bijna alle andere elementen (en met zichzelf: Cl₂). De sterke intramoleculaire binding leidt bij chloor relatief vaak tot stoffen die onder praktische omstandigheden een lang leven hebben. Een stabiliteit die tijdens de periode van nuttige toepassing als positief kan worden beoordeeld, maar die tijdens de rest van de levensduur soms negatief uitpakt.

Een bijkomend punt is dat; als een chloorverbinding uiteenvalt of anderszins transformeert, de vervalprodukten meer dan eens ook een negatieve invloed hebben op de omgeving. Soms zijn de volgprodukten veel persistenter en/of schadelijker dan de stoffen waaruit zij zijn ontstaan. Zeker bij chloor, zo lijkt de ervaring te leren, moet met de mogelijkheid van persistente volgprodukten rekening worden gehouden. Voor een zuivere beoordeling van de voor- en nadelen van het gebruik van specifieke chloorverbindingen, dienen ook de vervalprodukten van deze verbindingen in de beschouwing te worden betrokken ¹³. Zie verder 3.3.4.

3.3.3 Cumulatief gedrag

Diverse chloorverbindingen zijn lipofiel, dat wil zeggen zij worden gemakkelijk opgenomen door dierlijke en/of plantaardige vetten. Deze eigenschap, tezamen met een hoge persistentie, kan leiden tot cumulatieve concentratie in voedselketens. Een bekend voorbeeld is het bestrijdingsmiddel dichloordifenyl-trichloorethaan (DDT). Zie figuur 3.1.

DDT is in vele landen al sinds de jaren 70 verboden, maar wordt in meerdere gebieden van de wereld nog wel gebruikt en naar verluidt ook geproduceerd. Ook daar waar het gebruik al lang is gestopt, bevinden DDT en het schadelijke vervalproduct DDE zich nog steeds in voedselketens. De concentraties dalen slechts langzaam: in dierlijk vetweefsel met ruwweg 7% per jaar (halfwaardetijd ongeveer 10 jaar) ¹⁴.

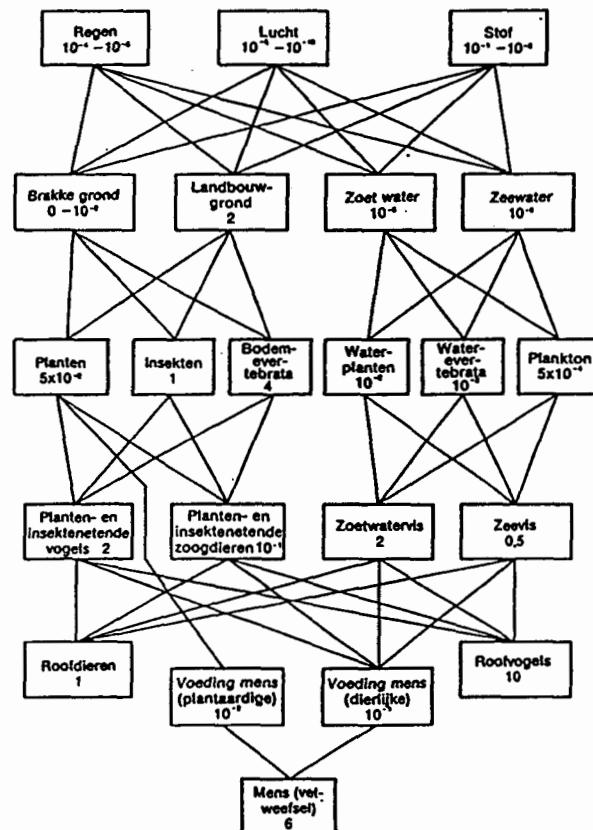
De laatste jaren is ten aanzien van het open gebruik van persistente en selectief cumulerende chloorverbindingen, voor zover bekend, veel verbeterd, zeker voor wat betreft de moderne economieën. Dit betekent niet dat problemen met persistentie en cumulatie geheel tot de verleden tijd behoren, en dat het uitsluitend gaat om een langzaam verdwijnende erfenis uit vroegere activiteiten. Ook de nu gebruikte chloorverbindingen vertonen in dat opzicht soms nog

¹³] Bij persistentie gaat het niet alleen om het verdwijnen van uitgangsstoffen, maar ook om de verdwijning en de mogelijke ophoping van tussenprodukten. Zie bijvoorbeeld H. Govers, 'Bacteriën breken chloorverbindingen af', commentaar 1, Chemisch Magazine, maart 1994, 91.

¹⁴] Zo was het gehalte van DDT in paling (Rijn) in 1991 gemiddeld 120 µg/kg produkt en in kabeljauwlever (Zuidelijke Noordzee) 300 µg/kg produkt. Ook bevindt DDT zich nog in moedermelk (970 µg/kg vet, 1986, West-Duitsland). (Algemene Milieustatistiek, 1992, 185-187; Dialogpapier Chlor, VCI, 1991, 15).

tekortkomingen. Zo wordt bijvoorbeeld in een recent onderzoek van het RIVM gesteld dat meer dan 40% van huidige landbouwbestrijdingsmiddelen, waaronder een substantiële hoeveelheid chloorverbindingen, de toets der kritiek wat dat betreft nog niet goed kan doorstaan (zie 4.3.1).

Figuur 3.1 Een voorbeeld van bio-accumulatie: DDT



Bron: J. Mewis, *Gevaarlijke stoffen*, Misset Groep Milieu, Nijmegen, 1983,
DDT-concentraties in ppm.

3.3.4 Transformatie in schadelijke volgprodukten

In 3.3.2 werd al gewezen op de mogelijkheid van verval, of beter gezegd van ongecontroleerde transformatie in schadelijke produkten verderop in de keten. Bij meerdere milieuproblemen speelt verval een rol. Voor chloor kan onder meer worden gewezen op:

- thermische omzetting van, soms nauwelijks schadelijke, chloorverbindingen tot gevaarlijke gechloreerde dibenzodioxinen en -furanen;

- transformatie onder invloed van zonlicht van octachloordioxinen in veel schadelijker tetrachloordioxinen in en op vaste fasen (photochemische reductieve dechlorering);
- fotolytisch verval van gehalogeneerde koolwaterstoffen tot ozonaantastende halogenradikalen;
- bacteriële omzetting (anaërobe dehalogenering) van gechloreerde koolwaterstoffen als tetrachlooretheen (per) en trichlooretheen (tri) tot di- en monochlooretheen (vinylchloride);
- transformatie van bestrijdingsmiddelen in schadelijke en persistente volgprodukten: bijvoorbeeld van dichlobenil (benzonitrilherbicide) in 2,6-dichloorbenzamide en van diuron (ureumherbicide) in 3,4-di-chlooraniline;
- afbraak van chloorligninesulfonzuren tot toxische chloorhoudende aromatische verbindingen (bij pulpfabrieken);
- biologische omzetting van anorganische chloorprodukten in meer schadelijke anorganische en organische chloorverbindingen (bijv. omzetting van chloordioxyde voor waterzuivering in chloriet en chloraat, vorming van chloroform).

Transformatie in schadelijke stoffen is moeilijk volledig te voorzien en treedt meestal op in een niet of nauwelijks meer te beïnvloeden omgeving.

3.3.5 Vergroting van verstoringsgvoeligheid

De gevoeligheid van biologische en fysieke systemen voor verstoring kan door de aanwezigheid van bepaalde stoffen significant worden vergroot. Dit lijkt ook te gelden voor sommige chloorverbindingen. Er kan worden gewezen op globale indicaties betreffende de toename van de carcinogeniteit van benzopyreen bij een geringe, naar het zich laat aanzien op zich weinig schadelijke, aanwezigheid van tetrachloordioxide, de toename van de gevoeligheid van de ozonlaagvorming voor aërosolen bij aanwezigheid van chloorradikalen, de sterk verhoogde lethaliteit van virusinfecties bij zeehonden in geval van belasting met PCB's en de immunotoxicologische effecten van dioxinen bij de mens waardoor een hogere gevoeligheid voor allerlei ziekten ontstaat. Bij combinatie-effecten als hiervoor bedoeld moet rekening worden gehouden met effectvergrotende niet-lineariteiten (totale effect groter dan de som van de deeleffecten). Effectverkleinende niet-lineariteiten zijn overigens ook mogelijk. Over combinatie-effecten is nog bijzonder weinig met zekerheid bekend.

3.4 Kanttekeningen

Het is zinvol te benadrukken dat de problemen die sommige stoffen geven, een combinatie zijn van stofeigenschappen, verspreiding, blootstelling en gevoeligheid. Een potentieel schadelijke stof waaraan geen enkel nuttig organisme of systeem wordt blootgesteld, geeft geen problemen.

Verder is het van belang onderscheid te maken naar absolute en relatieve schadelijkheid. Het feit dat chloorverbindingen in een aantal gevallen problemen geven, wil niet per definitie zeggen dat andere verbindingen bij gegeven toepassing altijd beter scoren. Gebruik van chloorverbindingen kan zeker milieuproblemen geven. De inzet van chloor, zowel in processen als in produkten, kan echter ook bestaande milieuproblemen oplossen, of althans verminderen. Eerder werd reeds gewezen op het feit dat de hoge chemische reactiviteit van chloor het onder bepaalde omstandigheden mogelijk maakt zuiniger met energie om te gaan. Een zaak die ook vanuit het milieu gezien voordelen heeft. Meer specifiek, wordt vanuit de industrie vaak gewezen op de produktie van het verf pigment titaandioxyde ('titaanwit'), waar de overgang van het sulfaatproces op een chloorproces aanzienlijke milieuvoordelen heeft opgeleverd: een drastische daling van de lozing van zware metalen en gips en een reductie van vast afval met meer dan 90%¹⁵.

De milieu-effecten van chloor zijn niet uitsluitend het gevolg van activiteiten van de chloor-industrie. Er ontstaan ook schadelijke halogenverbindingen bij niet-industriële activiteiten: bijvoorbeeld bij huisvuilverbranding, verbranding van stookolie op zee, openhaardvuur en barbecue. Verder komen verschillende door de mens gesynthetiseerde halogenverbindingen ook in de vrije natuur voor. De aanwezigheid van natuurlijke organohalogenen blijkt veel groter te zijn dan eerder vaak werd gedacht¹⁶. De vroeger dominante opvatting dat organochloren een natuurvreemde toevoeging zijn van de mens, is in zijn algemeenheid dan ook niet houdbaar. Ten aanzien van natuurlijke organohalogenen zijn de volgende punten van belang:

- het feit dat natuurlijke organismen soms zeer schadelijke organohalogenen blijken te kunnen vormen, benadrukt het evidente feit dat ook de vrije natuur niet zonder gevaren is; het risico van synthetische organohalogenen dient in deze context te worden bezien;
- het grote natuurlijke vermogen tot vorming van schadelijke organohalogenen kan een reden zijn op te passen met ruime verspreiding van chloor en van synthetische precursors van natuurlijk gevormde schadelijke chloorverbindingen; bij het verval zoals aangestipt in 3.3.4 speelt natuurlijke synthese meer dan eens een centrale rol;
- het gaat niet alleen om het ontstaan van natuurlijke halogenverbindingen, maar ook om de mate van verspreiding daarvan en om de mate van blootstelling van mens, dier, plant en dode natuur; onverlet de natuurlijke productie, ziet het er naar uit dat het overgrote deel van de organohalogenen waaraan de mens momenteel wordt blootgesteld van antropogene oorsprong is;
- het natuurlijke vermogen tot vorming van organohalogenen bergt het gevaar van aanzienlijke combinatie-effecten in zich; andere vormen van antropoge-

¹⁵] Dit neemt overigens niet weg dat het chloride-proces voor titaanwit toch nog behoorlijk wat energie verbruikt en een flinke hoeveelheid chemisch afval geeft.

¹⁶] Voor meer informatie op dit gebied kan worden verwezen naar de Proceedings van de International Conference on Naturally-Produced Organohalogens, 14-17 september 1993, Delft.

ne milieuaantasting kunnen het ontstaan van organohalogenen sterk bevorderen.¹⁷

Voor een goed oordeel over het belang van natuurlijke organohalogenen moet nog veel onderzoek worden verricht. Op de meeste gebieden is het inzicht gebrekkig. Wel is duidelijk dat voor de besluitvorming over chloor ruime aanwezigheid van natuurlijke organohalogenen een belangrijk gegeven is.

De Nederlandse overheid geeft, alhoewel geen specifiek chloorbeleid is ontwikkeld, in haar milieubeleid al gedurende een aantal jaren aandacht aan chloor. In het NMP (blz. 212) wordt de chemische industrie gevraagd 'de mogelijkheden te onderzoeken om het gebruik van chloor als basisstof te verminderen c.q. volledig beheersbaar te maken, opdat de risico's voor de externe veiligheid worden verminderd.' In het kader van het Indicatief Meerjarenprogramma Milieubeleid werd een selectie gemaakt van problematisch geachte stoffen. De lijst uit 1989 bevatte 38 stoffen/stofgroepen, waarvan 15 (40%) chloorhoudend. De daarnaast gehanteerde lijst van zwarte stoffen voor het milieubeleid bevatte 126 stoffen, waarvan 72 (57%) chloorhoudend. Ook op EG-niveau wordt gewerkt met stoflijsten, zowel zwart als grijs. Tezamen bevatten deze lijsten 129 stoffen, waarvan 90 (70%) chloorhoudend.¹⁸ Er zijn verschillende overheidsacties die van invloed zijn op het gebruik van chloorverbindingen. Gewezen kan onder meer worden op de Rijn- en Noordzee-actieprogramma's, het CFK-actieprogramma, KWS-2000, Meerjarenplan Gewasbescherming, Parcom en de EG-richtlijnen 67/548, 80/68, 76/464.

In verschillende landen worden studies verricht die zouden kunnen leiden tot een nadere formulering van een strategie voor chloor. In paragraaf 1.1 van deze studie werd reeds gewezen op de strategische verkenning in Nederland en op het initiatief van de Clinton Administration in de Verenigde Staten.

¹⁷⁾ Zo bevordert lozing van fosfaten de groei van algen. Sommige algensoorten produceren methylchloride. De natuurlijke produktie van deze stof neemt momenteel, naar wordt aangenomen, ruwweg 20% van de stratosferische chloorconcentratie voor haar rekening. Lozing van fosfaten zou daarom via het natuurlijk vermogen tot produktie van organohalogenen de ozonproblematiek kunnen verergeren.

^{18]} W. Berends en D. Stoppelenburg, Van keukenzout tot gifcocktail, Vereniging Milieudefensie, 1990, blz. 14.

4 ENKELE ONTWIKKELINGEN NADER BEKEKEN

Binnen de chemische industrie en verderop in de chloorketen doen zich ontwikkelingen voor die van belang zijn voor een evenwichtige beoordeling van de voor- en nadelen van chloor(producten en -processen). Dit hoofdstuk tracht, voorbeeldsgewijs, deze ontwikkelingen zichtbaar te maken. Hiervoor zijn de volgende onderwerpen gekozen:

- Ontwikkelingen op procesniveau:
produktieprocessen,
transport van chloor;
polyvinylchloride (PVC);
· bestrijdingsmiddelen;
· chloorfluorkoolwaterstofverbindingen;
· gechloreerde dioxinen en furanen;

De keuze voor een beschrijving van ontwikkelingen op *procesniveau* spreekt eigenlijk voor zich. De dynamiek zoals boven bedoeld, kan hier met enkele praktische voorbeelden duidelijk zichtbaar worden gemaakt. Het gaat daarbij om beide aspecten van de chloorchemie: chloor als bouwstof en chloor als hulpstof.

De keuze van PVC wordt gemotiveerd door het feit dat het, qua gewicht, de belangrijkste toepassing is van chloor. Ruwweg tweederde van de hoeveelheid chloor die de chloorchemie als eindproduct verlaat, wordt ingezet voor PVC. Tevens is PVC op dit moment een belangrijk concentratiepunt in de chloordiscussie. Meerdere zaken, onder meer ten aanzien van de mogelijkheden van ketensluiting en de voor- en nadelen van vervanging, vragen de aandacht.

Gechloreerde bestrijdingsmiddelen spelen een belangrijke rol in de voedselvoorziening en in de conservering van goederen. Gegeven de vrijwel geheel open toepassing, vormen ook zij een belangrijk thema van de milieudiscussie. In dit hoofdstuk worden organochloor-bestrijdingsmiddelen geplaatst in de brede beweging naar meer milieuvriendelijke bestrijdingssystemen.

Bij chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) kan de ontwikkelingsgang van onbekendheid, eerste vermoeden van aantasting van de stratosferische ozonlaag, vermoedelijk causaal verband en actie worden gedemonstreerd. Een bespreking is, ondanks het bestaande voornemen tot snelle eliminatie, opportuun omdat, naast dat de relatie met aantasting van de ozonlaag nog steeds niet volledig bekend is, er op het vlak van uitvoering c.q. realisatie van het voorgenomen tijdpad nog belangrijke onzekerheden liggen.

Gechloreerde dioxinen en furanen (PCDD's en PCDF's) zijn geen doelbewuste produkten van de chloor-industrie. Wel zijn zij nauw gelieerd aan de aanwezigheid van chloor. Zij kunnen bij vele antropogene activiteiten en natuurlijke processen ontstaan. Het lijken reeds bij geringe blootstelling zeer schadelijke verbindingen te zijn. In de inzichten in de schadelijkheid doen zich de laatste jaren belangrijke ontwikkelingen voor. Deze en andere ontwikkelingen worden nader besproken.

Bij vier van de vijf onderwerpen gaat het om stofgroepen. Zoals in 3.3 werd opgemerkt, gaat het bij eventuele problemen om een combinatie van stofeigenschappen en wijze van toepassing en gebruik. Een potentieel schadelijke stof is pas schadelijk als daaraan een nuttig te achten

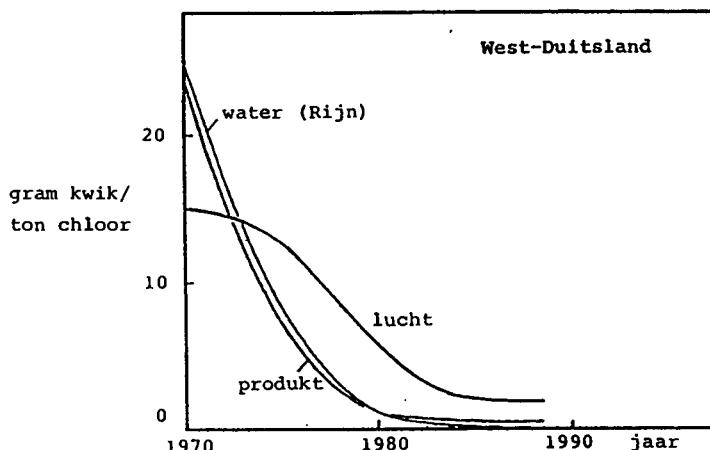
organisme of systeem daadwerkelijk wordt blootgesteld. Voor de eenvoud van de presentatie wordt dit in onderstaande tekst niet steeds herhaald.

4.1 Ontwikkelingen op procesniveau

4.1.1 Produktieprocessen

De produktie van chloor en afgeleide verbindingen gaat, zoals ledere produktie van materiële goederen, gepaard met de uitstoot van schadelijke stoffen. Een vrij algemene tendens van de laatste jaren is een daling van deze emissie. In een aantal gevallen is de daling aanzienlijk. Er zullen hiervan twee voorbeelden worden gegeven. Het eerste betreft de lozing van kwik bij elektrolytische produktie van chloor, zie figuur 4.1.

**Figuur 4.1 De uitstoot van kwik bij de produktie van chloor
(West-Duitsland)**



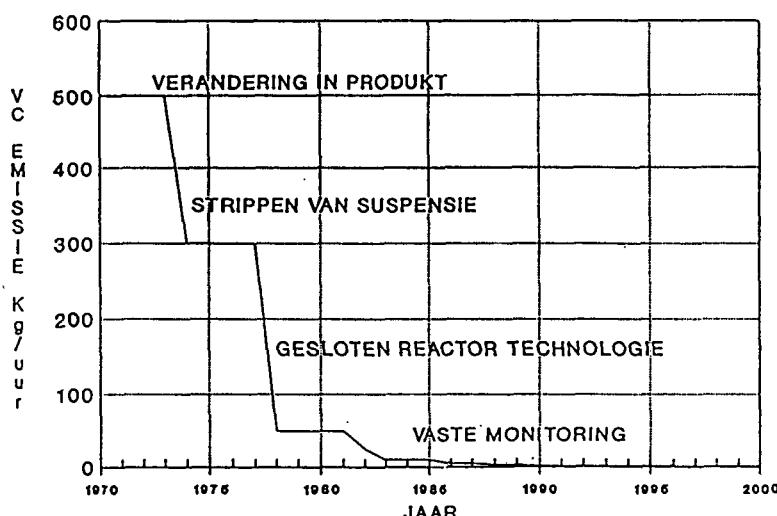
Bron: WRR, op basis van gegevens uit *Dialogpapier Chlor*, Verband der Chemischen Industrie E.V. (VCI), Frankfurt, juni 1991, 8.

Bovenstaande figuur heeft betrekking op West-Duitsland. Voor Nederland gelden ruwweg dezelfde emissiecijfers. De daling van de lozing van elektrolysekwik zal zich de komende jaren, voor wat betreft West-Europa, waarschijnlijk voortzetten. Tijdens de 'Third International Conference on the Protection of the North Sea' hebben de betrokken partijen zich voor het jaar 2010 een volledige overgang op kwikloze chloorproduktie tot doel gesteld. Binnen de chemische industrie bestaat overigens wel twijfel over de zinvolheid van deze doelstelling. Er wordt

onder meer gewezen op het feit dat de uitstoot van kwik bij chloorproductie inmiddels ver beneden de emissie uit andere (natuurlijke en antropogene) bron is komen te liggen¹⁹.

Het tweede voorbeeld van aanzienlijke verbetering betreft de emissie van vinylchloride-monomeer (VCM) bij de produktie van PVC. In 1973 werd met vrij grote zekerheid aangetoond dat VCM voor de mens kankerverwekkend is (angiosarcom lever). Dit heeft geleid tot een serie maatregelen die tot doel hadden de aanwezigheid van VCM in de omgeving en in het produkt PVC te verminderen²⁰.

Figuur 4.2 De emissie van vinylchloride bij de produktie van PVC (Nederland)



Bron: H.M. Ceasar, *PVC en ketenbeheer; van aanzet tot Implementatie in Nederland*, Stuurgroep PVC & Milieu, maart 1992.

Een dalende trend in proces-emissies is ook zichtbaar op andere terreinen. Door de inzet van strippers, incinerators, biologische zuiveringinstallaties en andere voorzieningen, zoals het gebruik van titaan-anodes in plaats van koolstof-anodes bij elektrolyse, neemt de proces-emis-

¹⁹] In dit kader worden vanuit de industrie voor de totale kwikemissie wel de volgende cijfers genoemd:
 . kwikelektrolyse Nederland 0,3 ton/jaar
 . kwikelektrolyse West-Europa 200 ton/jaar
 . metaalwinning en energie (wereld) 10.000 ton/jaar
 . uitgassing aardkorst (wereld) 100.000 ton/jaar
 Deze globale hoeveelheden zijn belangrijk, maar zeggen natuurlijk niet alles. Het gaat ook om de, naar tijd en plaats geprofileerde, concentratieverdeling en de blootstelling van belangrijke organismen en systemen. Deze zijn voor genoemde bronnen verschillend.

²⁰] Hierbij dient te worden aangetekend dat ondanks de 50-voudige reductie van de emissie van VCM in de periode van 1973 tot 1984, de streefwaarde lucht ($1 \mu\text{g VCM/m}^3$) in de nabijheid van industriële puntbronnen vaak nog aanzienlijk wordt overschreden.

sie van gechloreerde koolwaterstoffen af. De emissie van dioxinen bij de produktie van EDC/VCM is sterk gedaald. Er wordt meer en meer gedaan aan terugwinning en hergebruik van produktie-afval. Gewezen kan bijvoorbeeld worden op de (gedeeltelijke) herverwerking van het teerresidu bij VCM-produktie tot de grondstof HCl. De totale industriële emissies van organohalogenen zijn in de jaren 80 in Nederland met ongeveer 5% per jaar gedaald, van 18 miljoen kg in 1980 naar 11 miljoen kg in 1990. Er bestaan nog diverse plannen voor verdere reductie van schadelijke emissies. De meeste bedrijven in West-Europa werken met lijsten van stoffen waarvan de uitstoot de komende jaren zal moeten worden verlaagd. 'Responsible Care' is daarbij het vaak gehanteerde sleutelwoord.

Bovenstaande ontwikkelingen zijn zonder meer positief te noemen. Toch dienen er enkele kanttekeningen te worden gemaakt:

- bij een aantal reducties lijkt deels sprake te zijn van een verschuiving tussen milieucompartimenten. Het netto-effect zal daarom soms lager zijn dan in eerste instantie zou kunnen worden gedacht;
- ook als alle beschikbare gegevens op een rij worden gezet, dan nog is het beeld verre van volledig. Ook binnen de industrie is niet altijd volledig bekend wat waar wordt geëmitteerd. De drastische reducties zijn zeer belangrijk, maar lijken vooral betrekking te hebben op de meest zichtbare componenten van de totale emissie;
- de meeste gegevens over emissiereducties worden gepresenteerd door bedrijven die de milieuproblematiek op proactieve wijze benaderen. Het is niet onwaarschijnlijk dat bedrijven (of landen) met een meer defensieve houding met hun reducties minder ver zijn gevorderd;
- de gegevens over verbetering in emissieprofiel hebben vooral betrekking op reguliere uitstoot. Trendmatige ontwikkelingen in reguliere uitstoot geven geen goed beeld (van het verstorende effect) van infrequentie sterke verhoogde accidentele emissies. Bij accidentele proces-excursies kunnen stoffen worden gevormd die in het reguliere proces niet of natuurlijks voorkomen.
- een sterke reductie wil nog niet zeggen dat de overgebleven emissie vanuit het oogpunt van duurzaamheid acceptabel is. Zo kan een industriële emissie van rond de 10 miljoen kg organohalogenen in Nederland nog steeds veel te hoog worden geacht. Een sterke emissiedaling is soms meer een uiting van wat er vroeger fout was, dan van wat er nu goed is.

Kanttekeningen als hierboven zijn nodig om de ontwikkelingen goed naar waarde te schatten. Zij nemen echter niet weg dat in de moderne chloor-industrie op procesniveau de laatste jaren veel is verbeterd.

4.1.2 Transport van chloor

In West-Europa staan ongeveer 100 fabrieken waar chloor wordt geproduceerd. Het grootste deel van het geproduceerde chloor - ruwweg 80% - wordt in de nabijheid van de produktielokatie gebruikt. Het transport over korte afstand vindt meestal plaats via pijpleidingen. Ongeveer 20% van het geproduceerde chloor - in Nederland 150.000 ton en in West-Europa 2 miljoen ton - wordt in vloeibare vorm over grotere afstand vervoerd. Bij bulktransport worden speciale treinen en tankauto's ingezet. Het transport naar de klein-afnemer gebeurt met behulp van speciale containers.

Gezien de hoge acute toxiciteit van chloorgas, zijn voor het transport inmiddels een groot aantal veiligheidsvoorzieningen getroffen. Het gaat daarbij onder meer om de volgende zaken:

- wereldwijde regulering van het transport door de 'United Nations Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods' (UNCETDG): IMO voor transport over zee, RID voor railtransport, ARD voor wegtransport en ADN voor transport over inlandse waterwegen;
- gebruik van gedetailleerde 'Codes of Good Practice' door de industrie in Europa;
- aanvulling door diverse landen van UN-regelingen met eigen wet- en regelgeving;
- transport in Nederland voornamelijk via speciale bloktreinen, s'nachts rijdend, lage maximale snelheid (65 km/uur), absoluut heuvel- en afstootverbod, onderweg rangeerverbod, continue volging van de treinen door de Centrale Meldkamer van de NS;
- continue beschikbaarheid van deskundigheid via de Hulpdienst Chloor, een samenwerkingsverband tussen industrie en Spoorwegen.

In de periode van 1950 tot 1990 hebben zich in West-Europa bij het bulktransport van chloor - over rail en weg - 90 ongevallen voorgedaan, waarvan 22 met ontsnapping van chloor²¹. Bij deze ongevallen zijn geen doden gevallen. Voor wat betreft het transport met kleine containers zijn in genoemde periode 32 ongevallen geregistreerd. Daarbij zijn in totaal 4 mensen gedood. Voor de gehele wereld zijn geen betrouwbare cijfers beschikbaar, maar het lijkt erop dat de situatie daar ongunstiger is dan in West-Europa²².

Het risico van het bulktransport van chloor valt deels in de categorie van 'kleine kansen - grote gevolgen'. De beleving van dit soort risico's is complex: vele factoren spelen een rol. De direct belanghebbende producent zal geneigd zijn de nadruk te leggen op de zeer kleine kans dat er werkelijk iets fout gaat, en verder wijzen op andere activiteiten die een veel groter risico met zich mee lijken te brengen. Andere betrokkenen daarentegen zullen geneigd zijn de potentieel

²¹ PVC and the environment, Norsk Hydro a.s., augustus 1992.

²² In het rapport A Dossier of Chlorine Accidents, Amsterdam, 1991, van de organisatie Greenpeace worden voor de gehele wereld voor de periode van na 1980 de volgende getallen genoemd: geëvacueerd 176.104 personen, met letsel 14.157 en gedood 67.

grote gevolgen van een ongeluk in een dichtbevolkte omgeving te benadrukken, ook al is de kans op een dergelijk ongeluk hoogstwaarschijnlijk klein. Verder is het van belang te stellen dat bij risico(beleving) niet alleen moet worden gekeken naar sterfekansen. Bij een beoordeling vanuit het perspectief van duurzaamheid gaat het om een veel ruimer complex van gevolgen, waaronder ook een zaak als 'maatschappelijke ontwrichting'.

De West-Europese chloor-industrie, waaronder die van Nederland, zegt zich tot doel te stellen het transport van chloor in de komende jaren aanzienlijk te verminderen. Vermindering van transport heeft vaak ook economische voordelen. Een substantiële vermindering kan worden bereikt door:

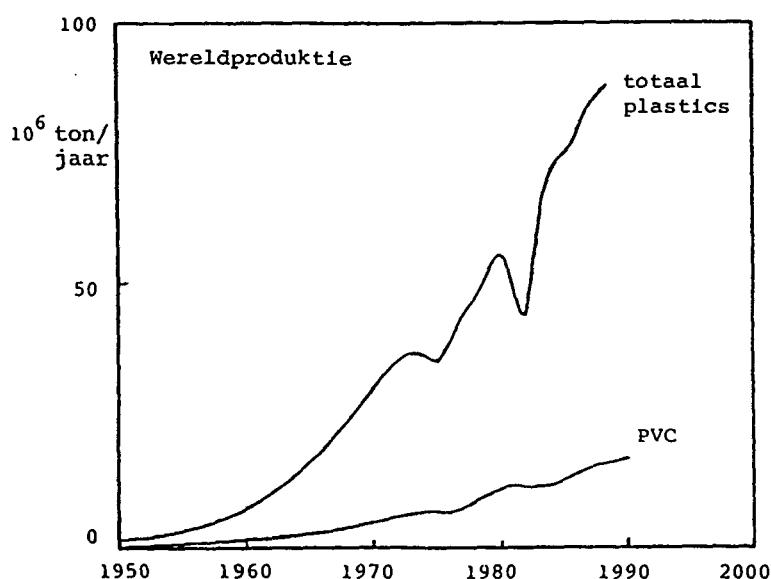
- . concentratie van chloorproduktie en -gebruik op dezelfde lokatie; bevordering van 'captive-use';
- . omzetting van chloor in intermediairen die bij transport minder gevaarlijk zijn;
- . vermindering van het gebruik van chloor in de economie.

4.2 Polyvinylchloride (PVC)

4.2.1 Kunststoffen in het algemeen

Commerciële kunststoffen bestaan al sinds 1868 toen J.W. Hyatt, ter vervanging van ivoor, in Amerika uit nitrocellulose en kamfer de kunststof cellulose synthetiseerde²³. Een andere belangrijke vroege kunststof is bakeliet dat in 1909 door de Belg L.H. Baekeland voor het eerst werd vervaardigd. Sinds deze eerste stappen is het aantal kunststoffen en het gebruik daarvan sterk gegroeid. Vooral na de tweede wereldoorlog heeft zich een stormachtige ontwikkeling voorgedaan. In de periode tussen 1950 en 1974 was, over de gehele wereld genomen, de volumegroei gemiddeld 16% per jaar. Deze tijdsontwikkeling wordt nader gepreciseerd in figuur 4.3.

Figuur 4.3 De wereldproduktie van kunststoffen



Bron: WRR, op basis van gegevens van A.E. Schouten en A.K. van der Vegt, *Plastics*, Delta Press, 1987, met aanvullingen.

De laatste jaren is sprake van een structurele tendens tot overcapaciteit. De gemiddelde bezettingsgraad is de afgelopen 10 jaar gedaald van 91% naar 85%. Tevens was sprake van een sterke concentratie. Zo daalde in Europa het aantal PVC producerende bedrijven in 15 jaar van 31 naar 15 nu, waarbij de grootste zes ruwweg 60% van de markt in handen hebben.

²³ De benamingen kunststof en plastic worden vaak door elkaar gebruikt. Een plastic wordt wel gedefinieerd als een synthetische macromoleculaire stof die door plastische vormgeving zijn materiaalfunctie verkrijgt.

Algemeen wordt verwacht dat het aantal producenten nog verder zal dalen, vermoedelijk tot ongeveer 8 in het jaar 2000.

De sterke groei van het gebruik van kunststoffen hangt samen met een aantal gunstige eigenschappen. De kosten per eenheid produkt zijn over het algemeen laag. De beschikbaarheid van de grondstoffen is groot. Hetzelfde geldt voor de technische bewerkingsmogelijkheden. In een aantal gevallen is het mogelijk door het gebruik van kunststoffen op energie en materiaal te besparen. Ook hebben kunststoffen meer dan eens in hygiënisch opzicht gunstige eigenschappen.

Een overzicht van de belangrijkste kunststoffen wordt gegeven in tabel 4.1. Tevens worden het verbruik (West-Europa, 1988) en enkele toepassingen vermeld.

**Tabel 4.1 Overzicht van de belangrijkste kunststoffen
(West-Europa, 1988, verbruik in ton/jaar)**

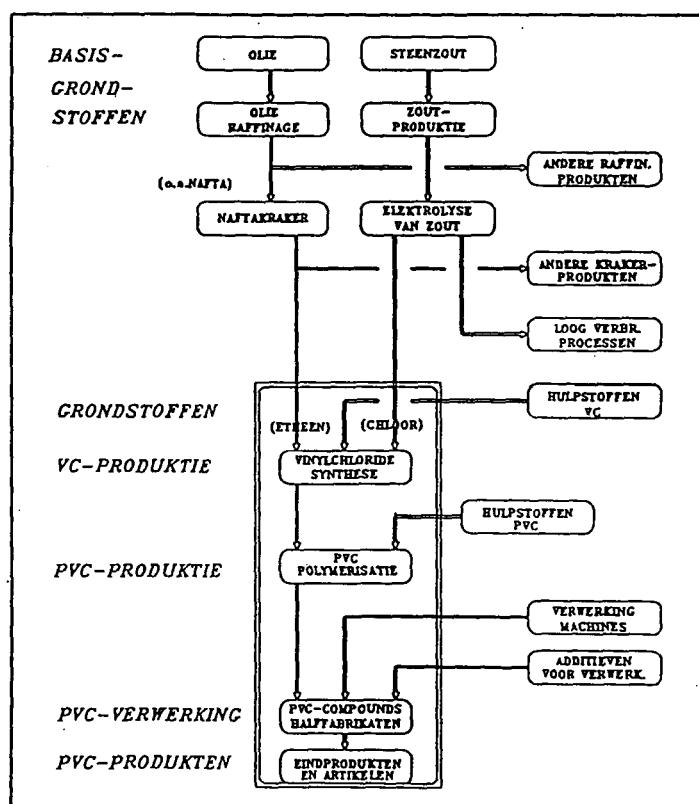
<u>Soort kunststof</u>	<u>Verbruik</u>	<u>Toepassing</u>
Polyetheen (PE)	7.500.000	verpakkingen, bouwmaterialen, huishoudelijke artikelen
Polyvinylchloride (PVC)	4.000.000	bouwmaterialen, kabels, verpakkingen, huishoudelijke artikelen
Polipropeen (PP)	3.000.000	verpakkingen, bouwmaterialen, huishoudelijke en kantoorartikelen, auto's
Polystyreen (PS)	2.000.000	verpakkingen, bouwmaterialen, huishoudelijke en kantoorartikelen
Acrylonitril-Butadien-Styreen (ABS)	500.000	auto's, huishoudelijke en kantoorapparatuur
Polyamide (PA)	300.000	auto's, elektronische apparatuur, kammen, tandenborstels
Polyesters (PET/PBT) (Polyetheen/buteen-tereftalaat)	250.000	flessen, folie, stekkers, lampvoeten
Polycarbonaat (PC)	130.000	compact discs, elektronische apparatuur, 'glas'-platen
Polyurethaan (PUR)	130.000	isolatieschuim, meubelschuim
Polyacetaten (POM)	65.000	auto's, sanitair
Polyfenyleenether (PPE)	65.000	auto's, kantoorapparatuur
Fluorpolymeren (PIFE, PVDF)	10.000	industrie, auto's, elektronica

Bron: E. Matser en J. Annema, 'Zo zit het met dat plastic', *Natuur en Milieu*, december 1990, 10.

4.2.2 PVC: produktiewijze en toepassing

Het polymeer polyvinylchloride (PVC) heeft zich, na de eerste synthese in 1872 (Baumann), de ontdekking van de basis voor technische produktie in 1912 (Klatte) en de eerste commerciële produktie in 1930, ontwikkeld tot een van de meest geproduceerde en gebruikte kunststoffen. In gewichtstermen staat PVC op de tweede plaats, na polyethyleen (PE). Een schematisch overzicht van het produktieproces van PVC wordt gegeven in onderstaande figuur.

Figuur 4.4 Het produktieproces van PVC In grote lijnen



Bron: H.M. Caesar, *PVC en ketenbeheer; van aanzet tot implementatie in Nederland*, Stuurgroep PVC & Milieu, maart 1992.

PVC wordt verkregen door polymerisatie van vinylchloride. Het monomeer vinylchloride wordt via verschillende stappen gemaakt uit chloor en eth(y)leen (uit aardolie). Zuiver PVC bestaat voor 57% uit chloor. Ongeveer een kwart van de totale hoeveelheid chloor die in de wereld wordt geproduceerd, wordt gebruikt voor PVC. In Nederland is het produktie-aandeel 34%, in West-Europa 29%. In hoofdstuk 2 werd aangegeven dat, in West-Europa, slechts 44% van het geproduceerde chloor wordt opgesloten in finale produkten. De rest is hulpstof en wordt

hergebruikt of, voornamelijk in de vorm van chloriden, geloosd. Van de hoeveelheid chloor die opgesloten in produkten de chemische industrie verlaat, gaat dus in West-Europa meer dan de helft (66%) naar PVC. PVC is daarmee qua gewicht de belangrijkste externe toepassing van chloor.

PVC is een thermoplast, dat wil zeggen dat bij verwarming de stof zodanig week wordt dat een eenvoudige verwerking mogelijk is. Zuiver PVC is een hard en bros materiaal dat bij circa 100°C degradeert en gevoelig is voor aantasting onder invloed van licht en lucht. Door toevoeging van 'additieven' worden de eigenschappen echter zodanig verbeterd, dat een praktische toepassing tot de mogelijkheden behoort, waarbij een juiste keuze van het additief het mogelijk maakt het materiaal goed toe te snijden op uiteenlopende toepassingen. Er zijn vele additieven, zoals weekmakers (vooral ftaalzure esters), pigmenten (titaanwit, loodchromaten, cadmiumpigmenten), hitte- en lichtstabilisatoren (veelal organische stoffen op basis van lood, tin, zink, barium, kalium en cadmium), glij- en smeermiddelen (wassen, vet-alkoholen, vetzuuresters), vulmiddelen (krijt, kaoline, talk, magnesiumoxyde), vlamvertragers (antimoontrioxide, aluminiumhydroxyde, magnesiumoxyde, chloorparafines), slagvastheidverbeteraars ('impact modifiers') en vezels als dragermateriaal. Naar gewicht gerekend zijn de weekmakers het belangrijkst. Normaal beweegt het weekmakergehalte van zacht-PVC zich tussen 20 en 40%, maar er zijn zachte PVC-formuleringen die voor meer dan 60% uit weekmaker bestaan.

Tabel 4.2 Toepassingen van PVC (West-Europa, 1988)

<u>Hard PVC</u>	. buizen (riool, drainage, waterleiding) en dakgoten	27,5%	65%
	. profielen (o.a. raamkozijnen)	15,0	
	. folies en platen	11,5	
	. holle voorwerpen (o.a. flessen, bumpers)	8,5	
	. grammofoonplaten	0,8	
	. overig	1,7	
<u>Zacht PVC</u>	. elektrische isolatie	8,5%	35%
	. weekfolies	8,0	
	. vloerbedekkingen	5,5	
	. kunstleer en bekleding	4,0	
	. slangen en profielen	3,5	
	. overig (o.a. medische toepassingen)	5,5	

Het aantal toepassingen van PVC(-formuleringen) is zeer groot en zeer divers. Bij de presentatie van gegevens over toepassingen van PVC wordt veelal onderscheid gemaakt tussen kort-cyclisch en lang-cyclisch en tussen hard-PVC en zacht-PVC (met veel weekmaker), zie tabel 4.2. In West-Europa heeft 20% van de totale hoeveelheid PVC die wordt gebruikt, een kort-cyclische toepassing (levensduur < 2 jaar). Het gaat daarbij vooral om verpakkingsmiddelen en kantoorartikelen. Een andere 20% heeft een levensduur tussen 2 en 15 jaar. Het betreft toepassingen in de automobielindustrie, in de gezondheidszorg en in de sport- en vrijetijdbranche. De resterende 60% van de PVC-artikelen heeft een levensduur groter dan 15 jaar en vindt vooral toepassing in de bouw (kabelisolatie, aan- en afvoerpijpen, dakgoten, raamkozijnen). De begrippen kort-cyclisch en lang-cyclisch zijn in milieu-opzicht relevant. Een lange levensduur heeft op zich evidente voordelen. Daarnaast gaat het echter ook om de mogelijkheden van hergebruik. Een kort-cyclisch produkt dat met weinig beslag op het milieu kan worden herverwerkt of worden herverbruikt, kan in ecologisch opzicht beter scoren dan een lang-cyclisch produkt dat deze eigenschap niet heeft.

4.2.3 PVC en het milieu

PVC is voor vele toepassingen een handig materiaal met een gunstige kosten/kwaliteitverhouding. Dit betekent echter niet dat de produktie en het gebruik van PVC geheel zonder problemen zijn. Er kan worden gewezen op de volgende zaken:

produktie

- het transport van chloor of intermediaire produkten (EDC, VCM), nodig als op verschillende lokaties wordt geproduceerd, brengt risico's met zich mee;
- de produktie van PVC gaat gepaard met emissie van verschillende schadelijke stoffen, zoals ethyleendichloride (EDC), vinylchloride-monomeer (VCM), PVC-stof en koolwaterstoffen (waaronder een relatief geringe hoeveelheid gechloreerde dioxinen: in de meest moderne fabrieken 0,02-0,3 gram I-TEQ/100 kton EDC, zie 4.6.2), vaak ook nog aanzienlijke hoeveelheden afvalslib verontreinigd met organohalogenen²⁴; verder emissies bij produktie van stoffen die in PVC-formuleringen worden toegepast;

gebruik

om PVC goed te kunnen gebruiken zijn verschillende en soms veel additieven nodig. Een aantal additieven, zoals de organometaalstabilisatoren, zijn onder bepaalde omstandigheden schadelijk voor mens en dier. In sommige publikaties worden nog steeds kanttekeningen geplaatst bij de ruime toegepassing van de weekmaker DEHP²⁵. Additieven kunnen tijdens of na

²⁴] Norsk Hydro, PVC and the Environment, 1992, tabel 5.6.

²⁵] Er bestaat een groot aantal publikaties die aannemelijk maken dat de weekmaker di-2-ethylhexylftalaat (DEHP), bij de nu gebruikelijke blootstelling, voor de mens ongevaarlijk is. Medische toepassingen van DEHP/PVC verdienen nog nader aandacht: de maximaal toelaatbare dagelijkse inname van 0,025 mg/kgdag lijkt daar soms aanzienlijk te worden overschreden (dialyse, transfusie). Bij deze overschrijding moet uiteraard wel het nut van deze specifieke toepassing in ogenschouw worden genomen.

het gebruik van het PVC-produkt door uitgassing, migratie, extractie of ontleding deels vrijkomen²⁶;

eindverwerking

bij verbranding van PVC of PVC-houdend afval ontstaan schadelijke stoffen: zoutzuur, verbindingen met zware metalen en een hele reeks micropollutanten waarvan onder meer de gechloreerde dioxinen en furanen kunnen worden genoemd; na afvalstort kunnen door degradatie zware metalen en schadelijke organohalogenen vrijkomen;

aanwezigheid van PVC in gemengd kunststof-afval kan bepaalde vormen van recycling bemoeilijken, onder meer van andere bulkplastics (polyetheen, polypropeen en polystyreen) (thermische ontleding van PVC geeft bijvoorbeeld schuimvorming);

de gebruiksketen van PVC is, evenals die van andere kunststoffen, nog verre van gesloten. Maagdelijk PVC legt (een gering) beslag legt op uitputbare voorraden grondstoffen (0,3% van het totale aardolieverbruik).

De produktieprocessen van PVC zijn de laatste jaren sterk verbeterd. In figuur 4.2 was bijvoorbeeld te zien hoe, in moderne produktie-installaties, de procesemissie van het schadelijke VCM is gedaald. Ook bij de uitstoot van andere stoffen, waaronder gechloreerde benzenen, dioxinen en furanen, is meestal een aanzienlijke daling opgetreden. Het VCM-residu in het produkt PVC zelf is sterk verminderd. Organostabilisatoren op basis van cadmium worden in Nederland sinds kort niet meer in maagdelijke PVC-formuleringen toegepast (Cadmiumbesluit, 12 oktober 1990).

Verdere verbetering van de produktieprocessen van PVC en daaruit afgeleide produkten is, onverlet de genoemde vooruitgang, echter nog steeds zinvol. Ook binnen de concentratiegrenzen die door de overheid zijn gesteld (MAC-waarden voor werknemers, 'grenswaarden' voor omwonenden) worden bij een gemiddelde produktiefaciliteit van VCM momenteel al gauw enkele tientallen tonnen ethyleendichloride (EDC) en enkele tonnen VCM per jaar geëmitteerd. Het inzicht in de totale emissies is ook nog niet volledig. Zo bestaat er bijvoorbeeld nog behoorlijk wat onzekerheid over disperse emissies²⁷. Bij verdere daling van de emissies dient ook aandacht te bestaan voor residuen, ook al worden deze onder gecontroleerde omstandigheden gestort.

DEHP is vooral op schadelijke invloed voor de mens onderzocht. Over de schadelijkheid voor andere levende organismen bestaat minder zekerheid, hetgeen vanuit het oogpunt van duurzaamheid niet onbelangrijk is. Er zijn indicaties dat de stof cumulatief gedrag vertoont onder anaërobe condities. De ruime aanwezigheid in slib zou de aquatische biodynamiek in negatieve zin beïnvloeden (RIVM, Exploratory Report Phthalates, nr. 710401001, 1990; WHO, Environmental Health Criteria 131, IPCS 1992; Norsk Hydro, PVC and the Environment, 1992).

²⁶] PVC and the environment, Norsk Hydro a.s., augustus 1992.

²⁷] H.M. Caesar, PVC en ketenbeheer, Stuurgroep PVC & Milieu, 1992.

Bovenstaande opsomming is summier. Het is, met het oog op de felle discussie die daarover wordt gevoerd, zinvol een drietal onderwerpen iets verder uit te werken. Het gaat om verbranding, hergebruik en vervanging van PVC.

4.2.4 *Verbranding van PVC*

Bij verbranding van PVC kunnen, niet in de laatste plaats door de aanwezigheid van chloor, schadelijke stoffen worden gevormd. Onderscheid moet worden gemaakt tussen accidentele verbranding en afvalverbranding in speciaal daarvoor bestemde en aangepaste installaties.

Bij vrijwel iedere *accidente verbranding* ontstaan toxische stoffen. Onderzoek suggereert dat onder praktische omstandigheden de toxiciteit niet alleen wordt bepaald door de materialen die erbij betrokken zijn, maar vooral ook door de brandcondities. De vorming van schadelijke produkten, zoals gechloreerde dioxinen, en het voorkomen daarvan in rook, bluswater en asresten vertoont een grote variatie. Er is onder die omstandigheden over de invloed van PVC weinig met zekerheid en met algemene geldigheid te zeggen. PVC is, vanwege het hoge chloorgehalte, minder brandbaar dan andere vaak gebruikte kunststoffen. De totale brandgevaarlijkheid blijkt daardoor in de praktijk echter weinig te worden beïnvloed. PVC geeft bij brand een substantiële bijdrage aan de vorming van zoutzuur, hetgeen vanwege de irriterende en daarmee waarschuwend werking vergiftiging door koolmonoxyde onder bepaalde omstandigheden zou kunnen voorkomen. PVC geeft echter ook, bij gelijke toevoer van energie, aanmerkelijk meer rookvorming dan de meeste andere stoffen, hetgeen ontsnapping kan belemmeren. Er bestaat onzekerheid (en onenigheid) over de vraag of en waar PVC, vanwege het gedrag bij accidentele branden, moet worden geweerd.

Een andere zaak is doelbewuste verbranding van kunststofafval in afvalverwerkingsinstallaties. Ruim een kwart van het kunststofafval wordt op dit moment op deze wijze verbrand. Het ziet er naar uit dat verbranding in de komende jaren van belang zal blijven, met name nu in vele landen wordt gestreefd naar een snelle reductie van afvalstort en hergebruik op sommige gebieden te maken heeft met startproblemen. In 1990 werd in West-Europa nog ongeveer 60% van het totale kunststofafval gestort:

In de *industrie* zijn de laatste jaren speciale incinerators voor chloorhoudend afval, waaronder dat van de PVC-produktie, in gebruik genomen. De verbranding is veelal gekoppeld aan (gedeeltelijk) hergebruik. Er is sprake van een sterke verbetering van verbrandingstechnieken en van 'gas cleaning' technieken. De materiaal>window' van deze gespecialiseerde verbrandingsinstallaties is echter smal: bij sommige installaties moet het chloorgehalte van het afval tussen 60 en 70% liggen en is de tolerantie voor contaminanten als fluor, zwavel en zware metalen gering. Alhoewel het basisprincipe van deze incinerators simpel is, worden door de combinatie van hoge temperaturen (1600 °C) en corrosieve gassen hoge eisen gesteld aan ontwerp en besturing. Alleen relatief scherp omschreven materiaalstromen kunnen door genoemde incinerators op dit moment goed worden bediend.

Een substantieel deel van het geproduceerde PVC komt terecht in het *huishoudelijk afval*²⁸. Het gaat daarbij vooral om produkten met een korte of een middel-lange levenscyclus. Ruwweg de helft van de hoeveelheid chloor die in huishoudelijk afval wordt aangetroffen, is afkomstig van PVC. Voedselresten (keukenzout), papier, hout en textiel zijn verantwoordelijk voor de rest. Het grootste deel van het chloor komt na verbranding vrij als zoutzuur. Bij de huidige samenstelling van het huishoudelijk afval kan de concentratie zoutzuur in het rookgas oplopen tot 1,5 g/Nm³, een veel te hoge waarde om zonder meer uit te stoten. Door speciale maatregelen moet deze concentratie met meer dan een factor 100 omlaag worden gebracht, in Nederland tot de emissienorm van 0,01 g/Nm³ (Richtlijn Verbranden 1989, Besluit Luchtemissies Afvalverbranding 1993). Voor neutralisatie worden meestal natronloog en kalk gebruikt. Dit brengt kosten met zich mee en draagt bij aan de hoeveelheid onbruikbaar residu²⁹.

Een gering deel van het aanwezige chloor wordt omgezet in chloriden van zware metalen. Deze metalen, zoals kwik, lood en cadmium, zijn vooral afkomstig van batterijen, elektronische apparatuur, verfresten en ook van stabilisatoren die in PVC worden of werden gebruikt. De metaalchloriden, die na uitwassing uit de rookgassen grotendeels terecht komen in het verbrandingsresidu, kunnen gemakkelijk worden uitgeloogd. Dit bemoeilijkt hergebruik van het residu en verhoogt de eisen die aan opslag daarvan moeten worden gesteld.

Verder wordt een (zeer) gering deel van het chloor omgezet in gechloreerde dioxinen en furanen. Het gaat hier om stoffen waarbij zeer strenge emissienormen moeten worden gehanteerd. Verbrandingsinstallaties voor huishoudelijk afval zullen in Nederland, en in verschillende andere landen, de komende jaren voor wat betreft de emissie naar de lucht moeten voldoen aan een grens van 0,1 ng I-TEQ/Nm³, een waarde die ten opzichte van de emissies van enkele jaren geleden zeer laag is. Er zijn verschillende installaties in de wereld, en inmiddels ook in Nederland, die beneden deze grens lijken te opereren. Het is overigens nog wel de vraag hoe deze installaties zich in de praktijk over langere tijd zullen gedragen, hoe de uitstoot zal zijn als zij onder minder optimale condities opereren en ook welke gevolgen de verminderde uitstoot naar de lucht zal hebben voor de aanwezigheid van schadelijke stoffen in het verbrandingsresidu. De technieken die nu worden toegepast zijn vooral 'end-of-pipe' en hebben de neiging de problemen van de lucht naar het residu te verschuiven. De huidige verbrandingstechnieken vertonen in enkele opzichten nog de verschijnselen van ongecontroleerde verbranding. Er is bij de vorming van dioxinen een grote en vrijwel onvoorspelbare gevoeligheid voor kleine variaties in brandhaard- en verbrandingscondities en er bestaat geen duidelijk zichtbare relatie met de totale hoeveelheid chloor en de chemische structuur van de voeding van de vuurhaard. Verwijdering van PVC uit huisvuil maakt, als de samenstelling van dat vuil voor het overige ongewij-

^{28]} In 1990 werd in West-Europa 2500 Mton vast afval geproduceerd. Hiervan was ruim 4%, ofwel 114 Mton, huishoudelijk afval. In dit afval was ongeveer 8 Mton plastic aanwezig, waaronder naar schatting 0,8 Mton PVC. De produktie van maagdelijk PVC bedroeg in datzelfde jaar ruim 4 Mton. Naar gewicht gerekend was 0,7% van het huishoudelijk afval PVC.

^{29]} De extra kosten hangen af van de norm die moet worden gehaald en ook van de kosten die in de berekening worden meegenomen. Op dit moment wordt veelal een bedrag genoemd van ongeveer f 350,- per ton PVC. Aangezien per inwoner per jaar gemiddeld 2,3 kilo PVC via het huishoudelijk afval beschikbaar komt, betekent dit f 0,80 per persoon per jaar (NL). Bij de huidige marktprijzen dus een gering bedrag. Het rookgasreinigingsresidu dat na neutralisatie ontstaat, is (onder meer) verontreinigd met zware metalen en dioxinen en moet onder gecontroleerde omstandigheden worden gestort. De aanwezigheid van PVC verhoogt de hoeveelheid residu met ruim 30%. Door verdere bewerking zou kunnen worden getracht de hoeveelheid en de schadelijkheid van het residu te verlagen. De mogelijkheden daartoe en, vooral ook, de kosten daarvan zijn nog onzeker.

zigt wordt gelaten, dan ook nauwelijks uit voor totale hoeveelheid gechloreerde dioxine en furaan die bij verbranding wordt gevormd³⁰. Of bij afscheiding van GFT-afval, textiel, hout en papier verwijdering van PVC wel zinvol wordt, is nog onduidelijk³¹. In ieder geval is te verwachten dat onder de huidige omstandigheden eliminatie van PVC en andere belangrijke chloorbronnen uit de te verbranden fractie geavanceerde maatregelen op het gebied van rookgaszuivering niet geheel overbodig maken. Tussen de vorming van dioxinen en de nu toegestane emissie daarvan naar de lucht bestaat momenteel een verschil van een factor 100 tot 1000. Een dergelijke reductiefactor lijkt via verandering van de samenstelling van de voeding alleen onbereikbaar. Na het nemen van proces-geïntegreerde maatregelen - noodzakelijk om niet alleen de emissie, maar ook de vorming van schadelijke dioxinen tegen te gaan - zou dit anders kunnen komen te liggen. De daarbij bedoelde maatregelen zijn gericht op een betere controle en stabilisatie van de verbranding en zouden, als gevolg daarvan, de relatie tussen 'input' en 'output' kunnen vereenvoudigen en lineariseren. Minder chloor betekent dan minder dioxinen. Zoals gesteld, is de onzekerheid ook hier nog groot³².

4.2.5 Hergebruik van PVC

Kringloopsluiting heeft de laatste jaren veel aandacht gekregen. Met name geldt dit voor kunststoffen. Bij hergebruik kunnen verschillende niveau's worden onderscheiden:

- produkthergebruik;
- materiaalhergebruik;
- grondstofhergebruik;
- energiehergebruik.

Volledig gesloten kringlopen, waarbij na het doorlopen van de kring fysiek niets is veranderd, bestaan niet. Zij zijn in strijd met de tweede hoofdwet der thermodynamica. Altijd gaat er aan *nuttige* energie en vaak ook aan *nuttig* materiaal iets verloren. Hoeveel energie en hoeveel nuttig materiaal er verloren gaan, hangt niet alleen af van theoretische limieten, maar vooral ook van praktische omstandigheden. Produkt- of materiaalrecycling is ecologisch niet altijd de beste oplossing. Soms is het bijvoorbeeld minder schadelijk een produkt te verbranden of te storten, terwijl in andere gevallen 'back to feedstock'-recycling de beste oplossing is. In weer andere

³⁰] Omgekeerd geldt hetzelfde. Als alleen keukenzout (uit voedsel) - de andere belangrijke chloorbron in het huisafval - wordt verwijderd, dan neemt de hoeveelheid dioxinen ook niet af. De afwezigheid van een duidelijke relatie tussen de hoeveelheid chloor en de vorming van dioxinen kan twee hoofdoorzaken hebben: verzadigingsgedrag door een overmaat aan chloor (niet-lineair verband) en, ten tweede, een zodanige ongecontroleerde variatie van de vorming dat elk verband, lineair of niet-lineair, door ruis wordt gemaskeerd. Vooral het laatste lijkt een rol te spelen.

³¹] Uit recent onderzoek van de Rijksuniversiteit Leiden is gebleken dat verminderen van het gehalte PVC in combinatie met verminderen van het gehalte GFT-afval, beide met 70%, leidt tot een daling van de vorming van chloorfenolen met ongeveer een factor 2, dit onder laboratoriumcondities met HCl/H₂O-flow-correctie. Chloorfenolen zijn precursors van dioxinen. (J. Boerekamps-Kanters en R. Louw, GFT, PVC, afvalverbranding en 'dioxine', Projectgroep Chemie en Milieu, RUL, CCESRS 93-09, 1993).

³²] Voor meer duidelijkheid is nog veel onderzoek nodig. Onderzoek naar dioxinen is nota bene moeilijk (en duur). Onderzoeksresultaten zijn meer dan eens moeilijk reproduceerbaar, terwijl verder resultaten verkregen onder kleinschalige laboratoriumcondities niet zonder meer kunnen worden vertaald naar de praktijk van grootschalige verbranding van huishoudelijk afval.

gevallen is het zinvol te werken aan preventie, waaronder ook vermindering door levensduurverlenging.

Voor wat betreft PVC is het moeilijk precies zicht te krijgen op hoeveel er momenteel wordt gerecycled. Omdat aan de begrippen recycling en hergebruik geen eenduidige betekenis wordt gegeven en omdat de materiestromen waarnaar wordt gekeken niet altijd dezelfde zijn, kunnen kwantitatieve gegevens vaak niet onderling worden vergeleken. Verder is de markt sterk in beweging, hetgeen betekent dat kwantitatieve gegevens snel zijn achterhaald.

Binnen de industrie liggen de recyclingpercentages voor produktie-afval van EDC/VCM/PVC hoog. Buiten de chemische industrie liggen de percentages van hergebruik veel lager. Tussen landen binnen West-Europa lijken grote verschillen te bestaan. Op een aantal deelgebieden heeft zich in het aanbod en de herverwerkingsfractie van PVC-afval de laatste jaren wel een sterke stijging voorgedaan (flessen, vloerbedekking, kozijnen, pijpmateriaal). Volgens sommige schattingen zou het herverwerkingspercentage van PVC in Nederland nu al tegen de 50% liggen³³. In 1990 kwam in Nederland in zijn totaliteit 900.000 ton kunststofafval vrij, waarvan 15% werd herverwerkt tot maalgoed/regranulaat en tot produkten. De resterende 85% werd gestort of verbrand^{34 35}.

Bij het hergebruik van kunststoffen doen zich enkele praktische knelpunten voor. Deze zijn deels van algemene aard, en deels specifiek voor PVC. Concreet gaat het om de volgende zaken:

- er is vaak sprake van lage rentabiliteit, recyclaten kunnen nog moeilijk op kosten en kwaliteit concurreren met maagdelijke grondstof; problemen op dit vlak worden geaccentueerd door sterke prijsconcurrentie (overcapaciteit) bij maagdelijke produkten; vooral PVC, PS en PP zijn in de praktijk moeilijk op economisch rendabele wijze te herverwerken;
- vergroting van afzetmarkten stuit op problemen; het aanbod is nog steeds groter dan de vraag; recyclingprodukten hebben veelal een slecht imago; bovendien blijken de huidige markten voor produkten uit afvalplastic snel verzadigd;
- potentiële leveranciers van reststof zijn vaak nog onvoldoende op de hoogte van de herverwerkingsmogelijkheden; in de ontwerpfasen wordt nog te weinig rekening gehouden met hergebruik;
- reststofleveranciers en werknemers bij recyclingbedrijven hebben moeilijkheden met het herkennen en sorteren van verschillende soorten kunststof; afgezien van enkele scherp gedefinieerde afvalstromen, zoals bouwmateriaal, wordt het ingezamelde materiaal steeds vuiler en complexer van aard;

³³] Informatie Akzo Nobel.

³⁴] Branchedocument Kunststofrecycling, Nederlandse Federatie voor Kunststoffen, 1993.

³⁵] In Europa werd in 1993 7,5% van het kunststof-afval herverwerkt. In de VS was dat 4,5%. Meer specifiek geldt voor de VS de volgende percentages: HDPE-flessen 36%, PET-flessen 34%, LDPE-folie en -flessen 10%, PS 5%, HDPE-folie 4%, PVC 3% en PP 1% (Technieuws, oktober 1994).

automatische scheiding (onder meer op basis van UV, röntgenstraling en nabij-infrarood) is volop in beweging, maar vertoont nog gebreken; de aanwezigheid van chloorhoudende kunststoffen, zoals PVC, in gemengd afval kan materiaalrecycling in technisch en economisch opzicht bemoeilijken³⁶; de economische haalbaarheid van 'back-to-feedstock'-recycling van moeilijk te scheiden plastics (hydrolyse of pyrolyse, met terugwinning van HCl) is nog onduidelijk, zij het dat hier reeds de eerste proefinstallaties worden gebouwd; lange levensduur van PVC heeft voordelen, maar ook nadelen: langdurige nasleep van gevaarlijke additieven zoals cadmium en lood; Cd is sinds kort in Nederland voor toepassing in (maagdelijk) PVC verboden, maar nog wel ruim in de lang-cyclische keten aanwezig; PVC was tot voor kort een 'grootverbruiker' van cadmium; het identificeren van Cd-houdende kunststoffen is in de praktijk nog een probleem.

In het bovenstaande gaat het ongetwijfeld voor een deel om startproblemen. Vrijwel iedere significante verandering, en een aanzienlijke mate van hoogwaardig hergebruik valt daaronder, heeft een beginbarrière te overwinnen.

4.2.6 Vervanging van PVC

Hergebruik zal niet altijd de beste oplossing bieden voor bestaande problemen op ecologisch gebied. Het gaat, bij gegeven materiestromen, om het vinden van een juist evenwicht tussen hergebruik, eindverwerking (verbranden, composteren, fermenteren, andere vormen van volume-, massa- en/of schadelijkheidsreductie) en storten. Tevens dient te worden bekeken welke voordelen substitutie tussen materialen oplevert.

In de praktijk gaat het bij vervanging van PVC door een ander materiaal veelal om een uitruil tussen functionaliteit³⁷, kosten, veiligheid en milieubelasting. Win-win-situaties komen weinig voor. Zo kan het, om ecologische doelstellingen te halen, nodig zijn in te leveren in termen van functionaliteit, kosten of veiligheid. Ook kan het voorkomen dat een bepaald milieu-effect wordt ingeruimd voor een ander milieu-effect, bijvoorbeeld minder energieverbruik voor meer vervuiling met organochloren. Gerichte technologische ontwikkeling kan de uitruil veranderen, door verbetering van bestaande produkten (en bijbehorende produktie- en verwerkingsprocessen), door invoering van nieuwe produkten en/of door verschuiving van toepassingspatronen.

^{36]} Zo zullen bijvoorbeeld resten van PVC in opnieuw te verwerken PET bij de verwerkingsstemperatuur van PET ontleden. Daarbij komen zuren vrij die de chemische en fysische structuur van PET aantasten. Reeds een bijnemenging van 50 ppm PVC is voldoende om PET te doen verkleuren en bros te maken. De aanwezigheid van PVC stelt, indien wordt gestreefd naar materiaalherverwerking, vooralsnog onhaalbare eisen aan de scheidingstechnieken.

^{37]} Bij functionaliteit moet, afhankelijk van de toepassing, rekening worden gehouden met verschillende technische materiaaleigenschappen, zoals stijfheid, kruip- en relaxatieverschijnselen, treksterkte, doorslaat/slag/scheursterkte, elasticiteit, elektrische eigenschappen, verlijmbaarheid, bedrukbaarheid, thermische eigenschappen, doorlaatbaarheid voor verschillende stoffen en organismen, chemische stabiliteit, verouderingsgevoeligheid, spanningscorrosie, biologische aantasting en brandbaarheid.

Er zijn verschillende materialen die in principe in aanmerking zouden kunnen komen voor vervanging van PVC. Berends en Stoppelenburg geven als eerste indicatie een opsomming, zie tabel 4.3. Bij deze lijst zijn, zoals bij elke indicatieve opsomming, enkele kanttekeningen te plaatsen. Zo is het bijvoorbeeld de vraag of PP voor de toepassing in raamkozijnen niet te zacht, te weinig UV-bestendig, te sterk onderhevig aan erosie en te weinig bestand tegen bacteriën is. Overigens is ook de technische duurzaamheid van PVC hier nog steeds een punt van zorg.³⁸

Tabel 4.3 Mogelijke PVC-vervangers: een eerste indicatie

Bouwkozijnen	zachthout, polypropyleen (pp), nylon, polyester
roltuiken	hout
lichtelementen	pmma (polymethylmethacrylaat), epoxy/polyester, polycarbonaat, glas
databedekking	bitumen, leder, ecb (een copolymer van ethyleen en bitumen); polyisobuteen, ethylchloroalcohol, butylnubber, pdm (ethyleenvinyleencloroëenrubber), wandbekledingplaten op basis van melamineharz, polyester; pmma*
kassen	glas, polyethyleen (pe), pet; ethyleenvinylacetaat
dalsgoten, regenpijpen, waterafvoerbuizen	polypropyleen, bepaalde metalen, polyester, cellulose-acetaat, polybuteen
drinkwaterleidingen	polyethyleen, polybuteen, staal, koper, staalbeton, gietijzer
drainage en rioolbuizen	polyethyleen, nylon, polypropyleen, polyester, polybuteen, beton
gasleidingen	staal, polyethyleen
Inrichting	
vloerbedekking	hout, linoleum, steen, rubber, nylon, kurk, jute
wandbekleding/behang	papier, hout met melamineharz
deuren	hout, staal
profselen	rubberprofselen
gordijnrails	metaal, hout
badkamerinterieur	pet; pmma*, pp, pe, katoen
meubels	leer, hout, linnen, katoen, bepaalde metalen, nylon, pmma*, pet, copolymer butadiene/nylon
Elektra en kabels	
kabelbescherming	pe, staal
kabelommanteling, isolatie	rubber, pe, ethyleenvinylacetaat, nylon
elektriciteitsbuizen	pe, pp, nylon
dozen	polybuteen, pp
apparaten	polycarbonaat*, polyester, pp
Overig	
verpakkingen	papier, karton, glas, pet, pe, pp
türelangen	rubber, pe, pp
dekzeilen	polyester, nylon, katoen
infusie-/transfusiemateriaal	ethyleenvinylacetaat, copolymer, pp; glas, pe, pet, nylon
folies voor zwembad, deponie, tank etc.	pe-folie, copolymer van bitumen en ethylene, polyisobutyl, bitumen
* mits chloorvrij geproduceerd	

Bron: W. Berends en D. Stoppelenburg, *Van keukenzout tot gifcocktail*, Vereniging Milieudefensie, 1990.

Om een goed antwoord te kunnen geven op de vraag welk produkt of materiaal in een gegeven toepassing de meeste voordelen heeft, moeten levenscycli met elkaar worden vergeleken. Men

³⁸ M.A. van Hoewijk, *Renovatieprojecten Stadsvernieuwing Rotterdam*, 1993. Bij een aantal toepassingen is een duidelijke trend terug naar (verduurzaamd) grenen(hout).

komt dan op het terrein van LCA: levenscyclusanalyse³⁹. De laatste jaren is zowel nationaal als internationaal veel energie gestoken in LCA. Door middel van analyse van produktie- en gebruiksketens wordt getracht een uitspraak te doen over de relatieve aantrekkelijkheid van bepaalde materialen of produkten. Bijvoorbeeld over het gebruik van PVC, andere plastics en glas voor flessen (met een bepaalde toepassing). De resultaten van LCA vallen tot nu toe tegen. Er zijn zowel praktische als theoretische problemen. Bij de uitvoering van LCA moeten arbitrale inschattingen worden gemaakt. De gegevens waarmee moet worden gewerkt, zijn vaak onzeker en variabel. De resultaten van LCA zijn over het algemeen zeer conditioneel. Het is zinvol dit laatste punt door een voorbeeld te verduidelijken.

Een belangrijk aspect is het energieverbruik van kunststoffen. Dit verbruik kan worden opgesplitst in de hoeveelheid energie die nodig is om het desbetreffende produkt te maken en de hoeveelheid bruikbare energie die nog zit opgeslagen in de kunststof waaruit het produkt is gemaakt. Deze laatste hoeveelheid kan bij verbranding eventueel worden teruggewonnen. In tabel 4.4 staan enkele gegevens.

**Tabel 4.4 Energie-equivalanten van enkele kunststoffen
(genormeerd op PVC)**

	PVC	PE	PP	PS
<u>zonder terugwinning van energie in materiaal</u>	1,00	1,30	1,36	1,46
<u>met terugwinning van energie in materiaal</u>	1,00	0,70	0,80	1,03

PVC: polyvinylchloride

PE : polyethyleen

PP : polypropyleen

PS : polystyreen

Bron: gebaseerd op gegevens uit H.M. Caesar, *PVC en ketenbeheer*, Stuurgroep PVC & Milieu, 1992.

³⁹ LCA is essentieel voor het opstellen van 'ecobalansen' en 'milieukeurmerken'. LCA is ook onmisbaar bij 'Integrated Substance Chain Management' zoals in Nederland voorgesteld door de VNCI/McKinsey & Company (1991).

In de tabel is, aangenomen dat de gegeven cijfers juist zijn, duidelijk te zien dat zonder energie-terugwinning PVC het meest aantrekkelijke materiaal is⁴⁰. Als echter de energie die zit opgesloten in de kunststof wel (geheel) wordt teruggewonnen, zoals door velen wordt beoogd, dan scoort PVC ongunstig. PE en PP lijken dan, voor wat betreft dit aspect, veel betere materialen. Wat de beste keuze is, hangt hier dus af van de mate waarin in de toekomst gebruik zal worden gemaakt van energie-terugwinning bij verbranding, een zaak waarover nog geen zekerheid bestaat. In de praktijk spelen meer van dat soort condities een rol. Een aanzienlijke contextafhankelijkheid verlaagt de waarde van analyses van smalle ketens en dwingt tot een meer systeemgerichte benadering, zowel in cross-sectioneel als in dynamisch opzicht. Dit punt komt later in de studie terug.

Het geheel overziende, moet worden gesteld dat voor de meeste toepassingen de huidige inzichten onvoldoende zijn om het geschil over de economische en ecologische voor- en nadelen van vervanging van PVC op objectieve wijze volledig te beslechten.

⁴⁰ Op dit gebied bestaan ook cijfers die minder gunstig zijn voor PVC. In het Jaarverslag 1991 van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOVEM/RIVM) worden de volgende getallen genoemd: PVC : PE : PP : PS = 1,00 : 1,08 : 1,02 : 1,32.

4.3 Bestrijdingsmiddelen

Bestrijding van schadelijke insecten, onkruid en andere 'ongewenste' organismen speelt een belangrijke rol in de samenleving. De huidige voedselproduktie is vrijwel overal op de wereld sterk verbonden met de inzet van chemische middelen. Een snelle en volledige eliminatie van deze middelen zou onder de huidige omstandigheden grote gevolgen hebben voor de voedselproduktie en de volksgezondheid.

Alvorens in te gaan op (organo)chloorbestrijdingsmiddelen, is het zinvol eerst enkele algemene tendensen op het gebied van bestrijding te bespreken. De problemen die daarbij optreden kunnen niet uitsluitend worden geweten aan organochloren. Ook andere middelen of methoden zijn vaak schadelijk. Het gaat om een brede problematiek, waarvan het gebruik van chloorverbindingen deel uitmaakt.

4.3.1 Algemene ontwikkelingen in bestrijding

Na de tweede wereldoorlog is het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen sterk toegenomen. De totale hoeveelheid werkzame stof die in de wereld werd gebruikt, groeide in de jaren 50 en 60 met ruim 6% per jaar. In de jaren 70 en 80 trad in moderne economieën een stabilisatie op. Nu vindt de groei vrijwel uitsluitend nog plaats in ontwikkelingslanden.

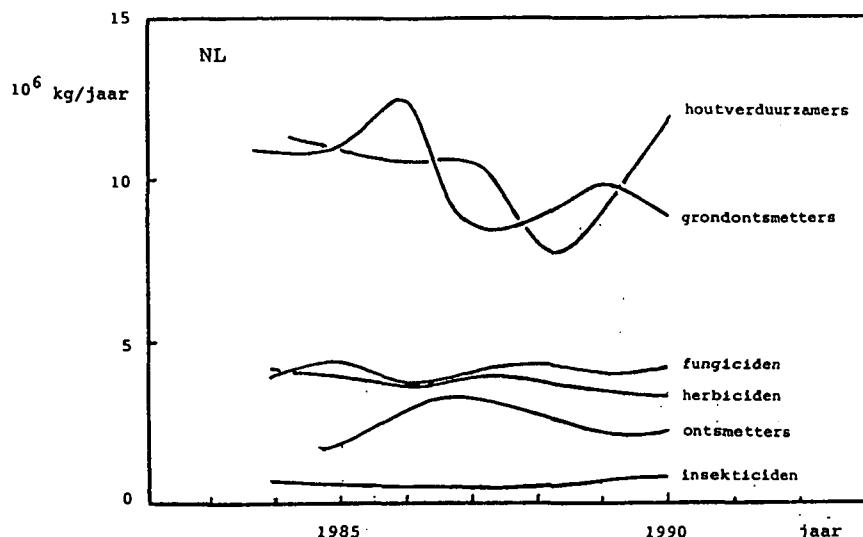
In genoemde stabilisatie heeft een toenemende bewustwording bij consument, overheid en producent van de negatieve effecten van chemische bestrijding ongetwijfeld een rol gespeeld. Een belangrijk beginpunt daarbij was de publikatie in 1963 van het boek 'Silent Spring' van Rachel Carson. In dit boek werd met name gewezen op de schadelijkheid van de zware persistente organochloorinsekticiden. In figuur 4.5 volgen enkele gegevens over het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen in Nederland.

De onvermijdelijk open toepassing en de soms hoge humane en ecotoxiciteit van bestrijdingsmiddelen hebben in het verleden meermalen tot problemen geleid. In moderne economieën worden nu, gemiddeld genomen, bestrijdingsmiddelen toegepast die minder schadelijk zijn. Ook is de manier waarop de middelen worden gebruikt, verbeterd. Dit betekent niet dat er geen problemen meer zijn. Een recente evaluatie door het RIVM geeft aan dat nog een groot deel (> 40%) van de nu gebruikte middelen de toets der kritiek niet kan doorstaan⁴¹. Dit geldt voor Nederland waar slechts ongeveer 300 actieve stoffen zijn toegelaten. In Frankrijk - een belangrijke landbouwnatie - is dat aantal ruwweg 700.

⁴¹ Hierbij is natuurlijk wel discussie mogelijk over de vraag of de gehanteerde toets de toets der kritiek kan doorstaan. De bij de evaluatie gebruikte criteria zijn: uitspoeling > 0,1 µg/l (CTB-model); acute toxiciteit > 0,1 L(E)C50 referentie-organismen; persistentie DT50 bodem > 60 dagen. Zie onder meer RIVM, Evaluatie 150 oude bestrijdingsmiddelen, 1990, nr. 678801001.

Figuur 4.5

Het gebruik van bestrijdingsmiddelen in Nederland

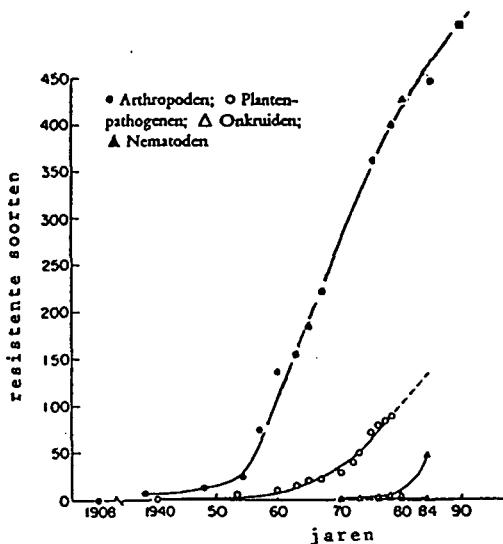


Bron: *Algemene Milieustatistiek 1992*, Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 1992; bij de grondontsmetters is methylbromide niet meegenomen. Gebruik binnen en buiten de landbouw.

Voor een deel van de nu gebruikte bestrijdingsmiddelen, waaronder de gechloreerde, geldt nog steeds dat zij een te *geringe selectiviteit* hebben. Naast de beoogde organismen worden bij gemiddeld gebruik ook andere, als nuttig beoordeelde organismen aangetast. Secundaire plagen zijn het gevolg. Tevens noopt vermindering van het aantal nuttige predatoren of concurrerende organismen tot een hoger gebruik van bestrijdingsmiddelen. Verder zijn de middelen soms nog te *slecht afbreekbaar*. De levensduur van die bestrijdingsmiddelen is dan veel langer dan de nuttige bestrijdingsduur. Dit leidt onder meer tot ophoping in de bodem of, bij een te *hoge mobiliteit* tussen milieocompartimenten, bijvoorbeeld tot uitspoeling naar het grondwater. Tevens hebben de gebruikte middelen vaak nog een te *groot resistentie-oproepend vermogen*. In figuur 4.6 is het aantal schadelijke organismen weergegeven dat resistent is tegen een of meer bestrijdingsmiddelen. Het betreft hier slechts een globale indicatie. Het aantal 'schadelijke' organismen dat resistent is, neemt nog steeds toe. Soms is zelfs sprake van een vrij breed uitstralende kruisresistentie: resistentie met het ene middel verkregen, geldt tevens voor andere middelen met een soortgelijke werking. Genetische modificatie (bijv. transmutatie) onder hoge selectiedruk en snelle overdracht van resistentie door uitwisseling van genetisch materiaal tussen organismen werpen hoge barrières op voor een onvermindert effectieve chemische bestrijding⁴².

⁴² Een probleem is dat de toenemende resistentie, voor zover bekend, nauwelijks geldt voor 'hogere' levende organismen. Als deze ook resistent zouden worden, dan zouden de problemen vanuit het oogpunt van duurzaamheid minder groot zijn.

Figuur 4.6 Toenemende resistantie tegen chemische bestrijdingsmiddelen



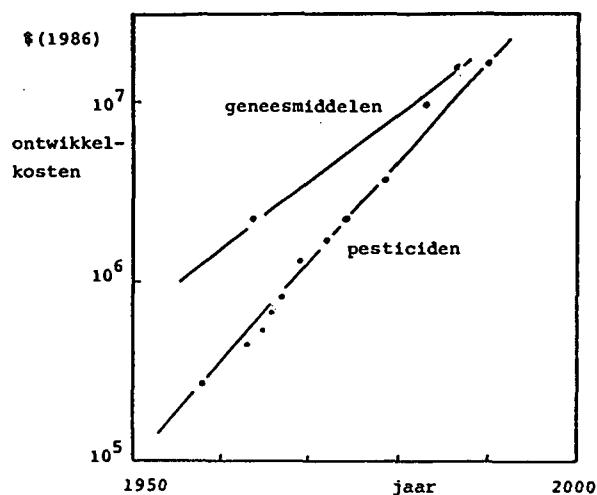
Bron: J.W. Copius Peereboom en L. Relijnders, *Hoe gevaarlijk zijn milieugevaarlijke stoffen?*, deel 2, Boom Meppel, A'dam, 1986. De waarde voor 1990 uit G.P. Georgiou, *Managing Resistance to Agrichemicals*, ed. M.B. Green, American Chemical Society, 1990.

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat de problemen met bestrijdingsmiddelen niet alleen betrekking hebben op milieu of veiligheid. Zij zijn, en worden steeds meer, ook (bedrijfs)economisch van aard. De volgende zaken zijn van belang:

- resistantie en adaptatie (verhoogde afbraak door aangepaste bodemorganismen) dwingen tot de inzet van meer middelen in hogere doses, ergo hogere kosten;
- residuen van bestrijdingsmiddelen in produkten vormen in toenemende mate een bedreiging voor de exportmogelijkheden van deze produkten;
- bepaalde gronden zijn door hoge residuen van bestrijdingsmiddelen voor langere tijd minder geschikt geworden voor bepaalde vormen van plantaardige productie en/of andere gewenste activiteiten; nadeffecten van sommige bestrijdingsmiddelen, met name bodemherbiciden, belemmeren bovendien een ruimere vruchtwisseling, en daarmee de overgang op een systeem met lager bestrijdingsmiddelengebruik;
- verschillende bestrijdingsmiddelen brengen schade toe aan de gewassen waarin ze worden gebruikt;
- in sommige teelten zijn nauwelijks of geen geschikte bestrijdingsmiddelen tegen frequent voorkomende ziekten of plagen meer voor handen; hele groepen bestrijdingsmiddelen zijn daar weggevallen door kruisresistantie;
- ruim gebruik van sommige bestrijdingsmiddelen, zoals herbiciden, bevordert bodem-erosie in geaccidenteerde terreinen.

Bovengenoemde problematiek wordt nog gecompliceerd door het feit dat de ontwikkeling en de marktintroductie van essentieel nieuwe bestrijdingsmiddelen zeer duur is en nog duurder wordt. Voor een aantal gewassen is het nauwelijks meer lonend nieuwe bestrijdingsmiddelen te ontwikkelen. De risico's - waaronder de onzekerheid of het nieuwe middel zal voldoen aan de bij introductie vigerende toelatingscriteria - worden door producenten meer dan eens te groot geacht. Bij nieuwe bestrijdingsmiddelen gaat het vooral om produktdifferentiatie - nieuwe formuleringen - en veel minder om nieuwe actieve stoffen. Een globale indruk van de groeiende ontwikkelkosten wordt gegeven in figuur 4.7. In deze figuur is ook de trendmatige ontwikkeling in de ontwikkelkosten voor nieuwe geneesmiddelen (voor de mens) gegeven.

Figuur 4.7 Toenemende ontwikkelkosten



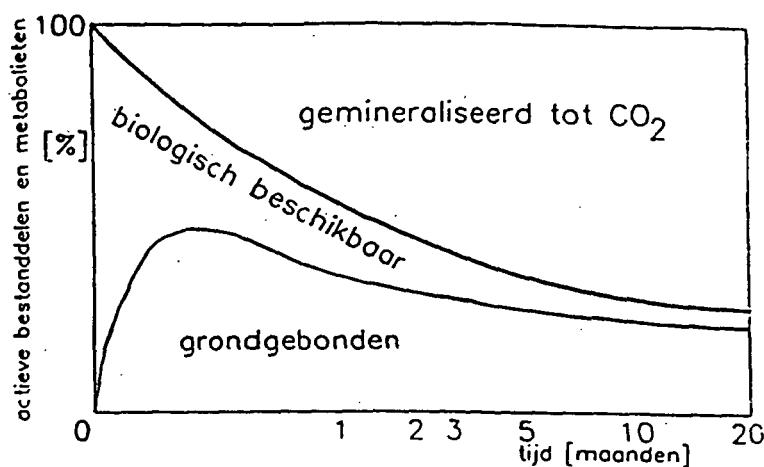
Bron: W.M. de Jong, *De economische effectiviteit van technische ontwikkeling*, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, W 30, 1988, met een enkele aanvulling.

Nederland neemt in het gebruik van bestrijdingsmiddelen een vrij uitzonderlijke positie in. Per hectare is dit gebruik in Nederland zeer hoog: ongeveer 10 kg werkzame stof per hectare per jaar (volle grond). In Frankrijk is dat 6 kg, in West-Duitsland 4 kg en in Denemarken 3 kg. Bij sommige teelten is het gebruik nog veel hoger, zoals bij de bloembollenteelt met 120 kg per hectare per jaar. Ter verklaring van het hoge gebruik wordt wel gewezen op klimatologische omstandigheden, op het sterk gespecialiseerde, zeer intensieve en relatief kleinschalige karakter van de Nederlandse akker- en tuinbouw en op de internationale oriëntatie van de Nederlandse economie waardoor een hoge insleep van allerlei ziekten en plagen uit het buitenland plaatsvindt. Het hoge gebruik is niet zonder gevolgen gebleven. In het grondwater zijn op diverse plaatsen bestrijdingsmiddelen, waaronder organochloren, in hoge concentraties aangetroffen.

De concentraties in het oppervlaktewater zijn vaak dusdanig hoog dat het ecologisch functioneren ernstig wordt belemmerd⁴³.

Tot slot zijn nog drie zaken van belang. De eerste betreft de *grondgebonden residuen*. Als de levensloop van bestrijdingsmiddelen in de grond wordt bekeken, dan is globaal een beeld zichtbaar zoals weergegeven in figuur 4.8.

Figuur 4.8 Globale levensloop van bestrijdingsmiddelen in de bodem



Bron: J.H. Canton, *Inhaalmanoeuvre oude bestrijdingsmiddelen: een integratie*, RIVM, nr. 678801001, 1990.

Een bestrijdingsmiddel wordt in de bodem vroeg of laat microbieel of abiotisch afgebroken. Voor een deel is daarbij sprake van mineralisatie, bijvoorbeeld tot chloriden, met vrijkomming van kooldioxyde. Daarnaast ontstaat ook een grondgebonden residu, dat over het algemeen zeer persistent is. De samenstelling van dit residu is vrijwel onbekend. Van de 152 actieve stoffen die recentelijk door het RIVM zijn onderzocht, geven 50 stoffen een grondgebonden residu van meer dan 30% van de eerder toegevoegde hoeveelheid bestrijdingsmiddel, en 19 stoffen een residu van meer dan 60%⁴⁴. De betekenis van het grondgebonden residu is nog onduidelijk. Het is niet bekend in hoeverre en onder welke omstandigheden dit residu biologisch beschikbaar is of kan komen. De toenemende druk die in vele gevallen op het milieucompartiment bodem wordt of zal worden uitgeoefend, kan hier gevaren in zich bergen. Er kunnen verschijnselen optreden soortgelijk aan de uitlogging van zware metalen door zure regen. Voor chloor is

⁴³ De grootste structurele overschrijding van de vigerende norm staat in Nederland op naam van de gechloreerde insecticide dichloorvos. In sommige gebieden (bijv. Westland) wordt de norm voor oppervlaktewater overschreden met een factor van ruwweg 30.000. Ook in regenwater komen hoge concentraties voor (oplopend tot 6,6 µg/l). (Watersysteemverkenning 1996, RIZA nota 94.043, 1994).

⁴⁴ J.H. Canton c.s., Inhaalmanoeuvre oude bestrijdingsmiddelen: een integratie, RIVM, nr. 678801001, 1990.

een bijkomend punt dat de natuur een groot natuurlijk vermogen tot vorming van schadelijke organochloren uit precursoren lijkt te hebben. De aanwezigheid van een groot grondgebonden residu zou daarmee het karakter van een 'chemische tijdbom' kunnen krijgen.

De tweede zaak betreft de aanwezigheid van *natuurlijke pesticiden*. De laatste jaren is door verschillende auteurs gewezen op het (evidente) feit dat natuurlijke afweerstoffen in gewassen ook schadelijk kunnen zijn. Zo blijken vele van deze stoffen, als zij volgens de bestaande standaardprocedures voor synthetische pesticiden worden getest, carcinogeen te zijn. Als de gemiddelde blootstelling aan de natuurlijke afweerstoffen wordt vergeleken met de doses die in proefdieren in 50% van de gevallen kanker geeft, dan lijkt het gevaar van deze stoffen voor de mens veel groter te zijn dan het gevaar van synthetische pesticiden⁴⁵. Deze constatering, indien juist, zou vraagtekens zetten bij de testprocedure, de normstelling en het toelatingsbeleid zoals nu gehanteerd voor synthetische pesticiden. Over deze zaak bestaat veel onenigheid. Ook dit punt illustreert in welke onzekerheid er op dit moment nog wordt gewerkt.

Het derde punt betreft het gebruik van *bestrijdingsmiddelen in economisch minder ontwikkelde landen*, een zaak die vanuit het oogpunt van duurzaamheid niet onbelangrijk is. Bij dit gebruik doen zich verschillende problemen voor. Ten eerste, worden meerdere bestrijdingsmiddelen die in West-Europa al lang zijn verboden, daar nog ruim gebruikt, na overigens vaak eerst in ontwikkelde economieën te zijn geproduceerd. Dit is niet alleen een probleem voor de onderontwikkelde landen. Via residuen in geëxporteerde produkten en/of via lucht en water, krijgen deze middelen vaak een ruime verspreiding (en komen deels ook terug in het producerende land). Ten tweede, is het gebruik van bestrijdingsmiddelen in onderontwikkelde landen over het algemeen onnodig hoog en vindt op zodanige wijze plaats dat ernstige gevaren voor de volksgezondheid aldaar optreden. Oorzaken van een veel te hoog gebruik zijn: verstengeling van landbouwvoorlichting en handel in bestrijdingsmiddelen, actieve marktschepping door grote producenten van bestrijdingsmiddelen en gebrek aan kennis op vele niveau's (vele boeren kunnen instructies voor gebruik niet lezen, zo zij die al krijgen). Overtollig en onzorgvuldig gebruik van bestrijdingsmiddelen in onderontwikkelde landen is in de eerste plaats een sociaal-economisch probleem. Door geschikte maatregelen - scheiding van belangen, bevordering van 'bottom-up' management en -deskundigheid, frequente veldobservaties, inzet van gezonde gewassen, behoud van natuurlijke vijanden - blijkt het bestrijdingsmiddelengebruik onder bepaalde omstandigheden drastisch te kunnen dalen. Zo is in Indonesië bij een daling van het bestrijdingsmiddelengebruik met 70% de rijstoogst met 40% toegenomen⁴⁶. Het is van belang het overheidsbeleid en de industriële 'Responsible Care' zo in te vullen, dat deze ontwikkeling wordt bevorderd, en niet wordt gefrustreerd.

⁴⁵] L.S. Gold c.s., 'Rodent Carcinogens: Setting Priorities', *Science*, vol. 258, 9 oktober 1992.

⁴⁶] De toename van de produktie was onder meer het gevolg van een daling van de produktie-uitval door secundaire plagen, met name van de cicadellide *Nilaparvata lugens*.

Zie voor de sociaal-economische kant van de zaak bijvoorbeeld E. van de Fliert, *Integrated Pest Management: farmer field schools generate sustainable practices*, Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen, 1993.

4.3.2 Gechloreerde bestrijdingsmiddelen

Chloorhoudende verbindingen nemen bij chemische bestrijding een belangrijke plaats in. Zo bevat bijna 50% van het aantal werkzame stoffen in landbouwbestrijdingsmiddelen chloor. Berends en Stoppelenburg geven voor Nederland de volgende gebruikscijfers (in tonnen werkzame stof) ⁴⁷.

	<i>totaal</i>	<i>gechloreerd</i>	<i>%</i>
<i>landbouw</i>	18341	7520	41
insekticiden	593	83	14
herbiciden	3671	1138	31
fungiciden	4280	599	14
grondontsmutters	8636	5760	66
<i>niet-landbouw</i>	21129	10142	48
houtverduurzaming	12250	392	3
desinfectie	10484	9750	95

Van de ruwweg 40.000 ton werkzame stof die in Nederland werd gebruikt, was 43% gechloreerd. Voor alleen de landbouw, waar in Nederland ruim 18.000 ton werkzame stof werd gebruikt, was dit percentage 41%. Vooral de gechloreerde grond-ontsmutters scoren in bovenstaande tabel hoog: 66%. Deze cijfers gelden voor het midden van de jaren 80. Aanvullende informatie kan worden gehaald uit de omzetcijfers (naar gewicht) van Nefyto. Bij deze organisatie is ruim 90% van de Nederlandse omzet van landbouwbestrijdingsmiddelen geregistreerd.

De Nefyto-omzetcijfers zijn als volgt:

	1984		1988		1991	
	<i>ton</i>	<i>%</i>	<i>ton</i>	<i>%</i>	<i>ton</i>	<i>%</i>
<i>landbouw totaal</i>	20.804	100,0	18.162	100,0	17.206	100,0
chloorhoudend	10.087	48,5	6.204	34,2	5.054	29,4
niet-chloorhoudend	10.717	51,5	11.958	65,8	12.152	70,6

Uit bovenstaand overzicht blijkt dat het omzetaandeel van gechloreerde verbindingen in de periode 1984-1991 is gedaald van 48,5% naar 29,4%. Deze daling wordt vrijwel geheel veroorzaakt door een afnemende omzet van de bodem-ontsmetter dichloorpropeen. Van deze stof werd in 1984 6.731 ton, in 1988 3.012 ton en in 1991 1.785 ton omgezet, althans voor zover

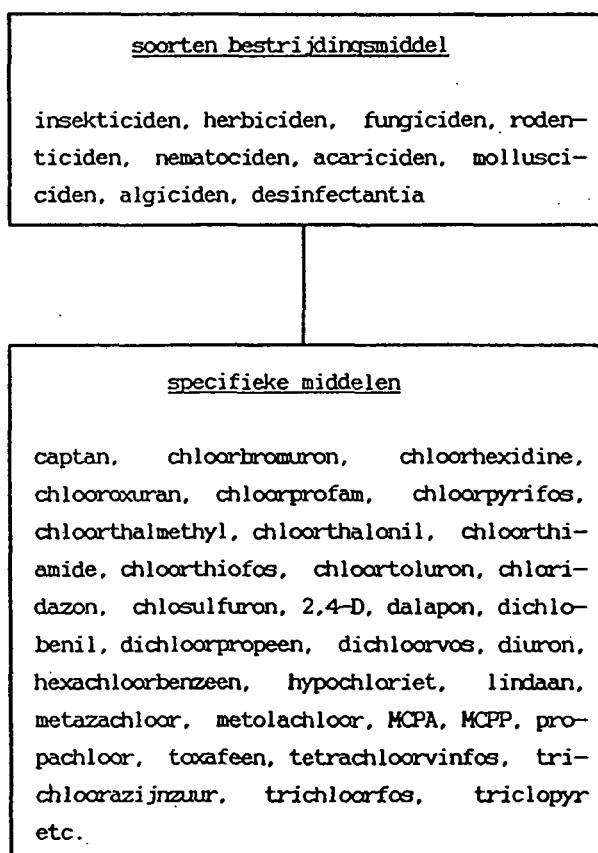
⁴⁷] W. Berends en D. Stoppelenburg, Van keukenzout tot gifcocktail, Vereniging Milieudefensie, 1990, blz. 29.

geregistreerd bij Nefyto. Als dichloorpropeen buiten beschouwing wordt gelaten, dan is het percentage chloorhoudende verbindingen in de beschouwde periode vrijwel constant, rond 20%.

In de periode van 1984 tot 1991 is de totale chloorvracht van landbouwbestrijdingsmiddelen afgangen van 5.274 ton chloor tot 1.951 ton chloor. Een daling die weer grotendeels voor rekening komt voor dichloorpropeen. Bij de overige chloorbestrijdingsmiddelen is sprake van enige 'chloorverdunning': een verschuiving naar stoffen met minder chlooratomen per molecuul⁴⁸.

Chloorhoudende bestrijdingsmiddelen worden ingezet voor verschillende vormen van bestrijding. In tabel 4.5 volgen enkele voorbeelden.

Tabel 4.5 Enkele chloorhoudende bestrijdingsmiddelen

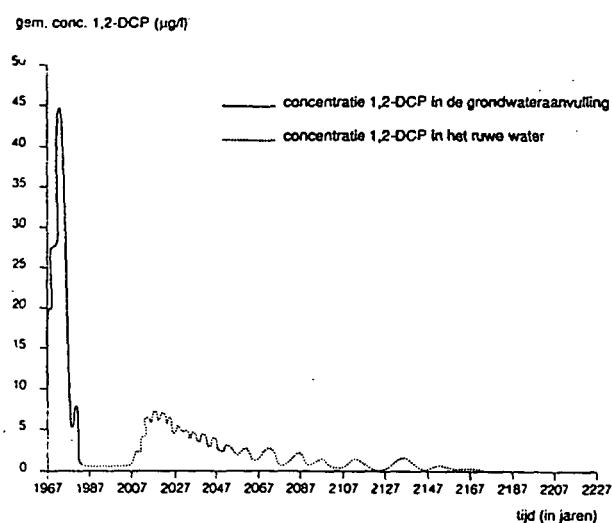


⁴⁸] Verbindingen met meer chlooratomen hebben de tendens persistenter en schadelijker te zijn. Bij persistentie en schadelijkheid zijn echter ook andere factoren van belang.

4.3.3 Problemen

Zware en zeer slecht afbreekbare gechloreerde bestrijdingsmiddelen als de 'drin's' (aldrin, dieldrin, endrin) en DDT en ook relatief schadelijke middelen als camfechloor, chloordaan, endosulfan, heptachloor, methoxychlor en chloorfenvinfos mogen in een aantal Westerse economieën, waaronder Nederland, niet meer worden gebruikt. Sommige van deze middelen komen nog wel in de voedselketen voor. Eerder in deze studie werd gewezen op het ook nu nog voorkomen van DDT in rivier- en zeevis en in moedermelk. Er doen zich in een aantal gevallen langdurige nijleffecten voor. Als voorbeeld kan worden gewezen op de te verwachten doorlek van persistent 1,2-dichloorpropaan in opgepompt grondwater (Drente). Deze schadelijke stof is een bijproduct van de veel gebruikte bodemontsmetter 1,3-dichloorpropeen.

Figuur 4.9 Verwacht concentratieverloop van 1,2-dichloorpropaan in opgepompt grondwater (Noordbargeres, Drente)



Bron: RIVM.

Volgens de huidige EG-drinkwaterrichtlijn (EG-Directive 80/778) is in drinkwater 0,1 µg/l (0,1 ppb) van een afzonderlijk bestrijdingsmiddel acceptabel, en voor alle bestrijdingsmiddelen tezamen 0,5 µg/l. In het voorbeeld van figuur 4.8 is dus sprake van een overschrijding van deze richtlijn tot ver in de 22^e eeuw.

Zoals reeds meermalen gesteld, zijn ook de nu nog in Nederland toegelaten middelen niet zonder problemen. Het meest persistente bestrijdingsmiddel (bodem) is een organochloorverbinding (dicloran). De meest giftige stoffen voor waterorganismen zijn chloorverbindingen (chloorthalonil voor algen en cypermethrin voor kreeftachtigen en vissen). De meest giftige stof voor bijen is ook een chloorverbinding (cypermethrin). De meest accumulatorende stof in vissen is een chloorverbinding (het op DDT lijkende dicofol). De stof die de vigerende norm voor het

oppervlaktewater het meest overschrijdt, is een chloorhoudende insekticide (dichloorvos). Van de bestrijdingsmiddelen die in Nederland op de nominatie staan om vanwege een te hoge persistentie te worden geëlimineerd, is ongeveer 60% organochloorkoolverbinding⁴⁹. Meer specifiek kunnen voor enkele veel gebruikte gehloreerde bestrijdingsmiddelen de volgende problemen worden genoemd⁵⁰:

Lindaan

breed werkend insekticide, breekt onder bepaalde omstandigheden slecht af, cumuleert in aquatisch milieu, kan bij mensen ernstige bloedafwijkingen geven, bij verwerking van produktie-afval kunnen gehloreerde dioxinen en furanen ontstaan, ecologische norm wordt in een aantal gebieden overschreden, heeft relatief hoge dampspanning, daardoor transport over grote afstand met uitregening;

Dichloorvos

organofosfaatinsekticide, acuut giftig voor zoogdieren ($LD_{50} = 50 \text{ mg/kg}$), kreeftachtigen en vissen, beïnvloedt zenuwstelsel en erfelijk materiaal van vogels en zoogdieren (waaronder de mens), is mogelijk mutageen en carcinogeen, breekt in water en slib snel af, vermoedelijk echter in volgprodukten die schadelijker zijn dan dichloorvos zelf, in NL voornemen tot sanering (<1995);

Dichlobenil

benzonitrilherbicide, weinig selectief, redelijk persistent, disappearance time bodem $DT_{50} = 6$ maanden, bij afbraak ontstaat onder meer het zeer persistente 2,6-di-chloorbenzamide, hoge uitspoeling naar grondwater met 100-voudige overschrijding van concentratielimit, in NL voornemen tot sanering (<1995);

MCPA, MCPP en 2,4-D

chloorfenoxyherbiden, lage acute giftigheid voor de mens, spoelen onder bepaalde omstandigheden uit naar grondwater, DT_{75} bodem = tot 3 maanden, 2,4-D wordt verdacht van embryotoxische effecten bij dieren, bij productie van chloorfenoxycarbonzuur kunnen chloordioxinen/furanen ontstaan;

Dalapon

chloorkarbonzuurherbicide, spoelt uit naar grondwater, meer dan 100-voudige overschrijding van concentratielimit, bij proefdieren kankerbevorderend;

⁴⁹] J.H. Canton et al., Evaluatie 150 oude bestrijdingsmiddelen, RIVM, nr. 678801001, 1990.

⁵⁰] Voor een uitvoeriger beschrijving van problemen wordt verwezen naar J.W. Copius Peereboom en L. Reijnders, Hoe gevaarlijk zijn milieugevaarlijke stoffen?, 1/2, 1986/1991, Boom Meppel; W. Berends en D. Stoppelenburg, Van keukenzout tot gifcocktail, Vereniging Milieudefensie, 1990.

rend, kreeftachtigen zeer gevoelig, DT75 bodem = 2 maanden, in NL voornemen tot sanering (<1995);

Diuron

ureumherbicide, vooral schadelijk voor eenjarige planten, geeft bij huidcontact chlooracne, breekt slecht af, DT75 = 8 maanden, via atmosferische depositie verontreiniging Noordzee, als bijneming tetrachloorazobenzeen aangetroffen (mutageen en carcinogeen), geeft aanleiding tot vorming van 3,4-dichlooraniline (geeft overgevoeligheid, verdacht carcinogeen);

Dichloorpropeen

veelgebruikte bodemontsmetter, beïnvloedt zenuwstelsel, mutageen, bij proefdieren carcinogeen, spoelt snel uit, nu verboden in waterwingebieden, contaminatie met schadelijk en persistent 1,2-dichloorpropaan, vanaf 1995 in NL alleen het actieve Isomeer dichlorprop-P toegelaten, dan nog uitsluitend op recept verkrijgbaar;

Captan

schimmelbestrijder, verdacht van carcinogeniteit, verandert erfelijk materiaal, schadelijk voor kreeftachtigen, ruime overschrijding van acute toxiciteitsnorm, in NL voornemen tot sanering (<1995).

In bovenstaande opsomming ligt een accent op stof eigenschappen. Voor wat betreft de gevolgen van het gebruik van deze stoffen, moet worden opgemerkt dat over het feitelijk optreden van schadelijke effecten van de huidige generatie bestrijdingsmiddelen op flora en fauna nog aanzienlijke onzekerheid bestaat⁵¹.

4.3.4 Maatregelen

Om ecologische en ook om economische redenen is het noodzakelijk bestrijding van ziekten en plagen verder te verbeteren. In verschillende landen en op internationaal niveau zijn hiervoor plannen opgesteld. Voor Nederland kan worden gewezen op het Meerjarenplan Gewasbescherming voor de land- en tuinbouw voor de periode van 1990-2000. Onderdeel van dit plan is een reductie van het gebruik van bestrijdingsmiddelen tot ruim 50% in het jaar 2000⁵². Gelet op de ontwikkelingen sinds de publikatie van het Meerjarenplan, is het de vraag of de beoogde reductie zal worden gehaald.

⁵¹ Meerjarenplan Gewasbescherming, Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 1990-1991, nr. 21677.

⁵² Bij een dergelijke reductie zal Nederland in het jaar 2000 nog steeds een grotere hoeveelheid bestrijdingsmiddelen (per hectare per jaar) gebruiken dan in vrijwel alle andere landen nu wordt gebruikt. Tezamen met eliminatie van bestrijdingsmiddelen met een grote acute toxiciteit, een grote uitspoeling naar het grondwater en/of een hoge persistentie (DT50>60 dagen) zal deze reductie echter aanzienlijke positieve gevolgen kunnen hebben voor het milieu.

Hieronder volgt een korte opsomming van maatregelen die voor verbetering van bestrijding van belang zijn. De opsomming is algemeen en heeft ook, maar niet uitsluitend, gevolgen voor de inzet van chloorhoudende bestrijdingsmiddelen.

teeltmaatregelen

ruimere vruchtwisseling; doelmatig zaaien; inzet van gewassen die beter bestand zijn tegen ziekten en plagen⁵³; gebruik van beter uitgangsmateriaal; meer toepassing van vanggewassen; betere keuze van tijdstip voor zaaien, planten en oogsten; verbetering van bouwplannen; gesloten systemen bij kasteelt;

verbeterde toediening van bestrijdingsmiddelen

eliminatie van overdoses door gerichter gebruik; betere formuleringen en afleversystemen; verbetering van sputitechnieken; aanbrengen van fysieke barrières voor ongewenste emissie; minder bestrijdingsbehandelingen per jaar;

sanering van stoffenbestand

eliminatie van stoffen die bepaalde normen van acute toxiciteit, mobiliteit en persistentie te boven gaan, in dat kader verdere vervolmaking van deze normen; eliminatie van ongewenste bijprodukten, verwijdering van nutteloze en soms ook schadelijke stereo-isomeren (daarvoor onder meer verdere ontwikkeling van asymmetrische katalyse met metaalcomplexen en met inzet van micro-organismen); onderzoek naar stoffen waaraan planten en andere organismen hun natuurlijke resistentie ontlenen, ontwikkeling van natuuridentieke chemicaliën, overgang op nieuwere generaties milieuvriendelijkere bestrijdingsmiddelen, onder meer uit planten, algen en schimmels⁵⁴;

overgang op andere bestrijdingstechnieken

meer geïntegreerde vormen van bestrijding: mechanisch, thermisch, chemisch en bio(techno)logisch (predatoren, concurrerende organismen, feromonen);

inzet van nieuwe biotechnologie: rDNA-technieken, nieuwe bestrijdingsmiddelen, resistentieverhoging (bijv. door transformatie van planten met genen die coderen voor man-televetten van schadelijke virussen of voor defecte polymerasen);

⁵³ Hierbij moet nogmaals worden gewezen op het feit dat natuurlijk ingebouwde bestrijdingsmiddelen vaak ook schadelijk zijn. Zo bevatten bepaalde op resistentie gekweekte aardappelen zoveel solanine dat ze ongeschikt zijn voor directe menselijke consumptie.

⁵⁴ Welbekende (eerste-generatie) voorbeelden hiervan zijn de pyrethrinen en de pyrethroïden die sinds de jaren 70 op de markt zijn. Sommige synthetische pyrethroïden bevatten overigens chloor (permethrin, cypermethrin, fenvaleraat) en zijn zo schadelijk dat zij in Nederland op de nominatie staan om te worden gesaneerd.

verschuiving in doelstelling van bestrijding

van preventief naar curatief, van volledige reductie van ziekten en plagen naar 'containment' (daarvoor onder meer diversificatie van selectiedruk, verlaging selectiedruk per factor, meer alternatie, scherpere monitoring etc.);

sociaal-economische maatregelen

vooral in onderontwikkelde landen is het hoge en onzorgvuldige gebruik van bestrijdingsmiddelen vooral een sociaal-economisch probleem; verschillende maatregelen zijn nodig: landbouwkundige voorlichting en handel in bestrijdingsmiddelen moeten worden ontkoppeld, het kennisniveau van de gebruikers worden vergroot, 'bottom-up' managementsystemen en samenwerkingsverbanden worden bevorderd en aan 'Responsible Care' door grote multinationale bedrijven een betere invulling worden gegeven (harmonisatie bestrijdingsmiddelen-afzetregimes, terughoudend marktscheppingsbeleid).

Het spreekt voor zich dat nieuwe(re) methoden of middelen voor bestrijding ook niet geheel zonder problemen zullen zijn. Zo betekent meer selectiviteit (van een bestrijdingsmiddel) soms ook een snellere resistantie (tegen dat bestrijdingsmiddel). Verder moet worden gewezen op het ervaringsfeit dat een grotere selectiviteit vaak gepaard gaat met een hogere persistentie. Een overgang op bio(tech)nologische methoden kan onder bepaalde omstandigheden tot gevolg hebben dat de chemische wedloop in bestrijding wordt vervangen door een biologische wedloop, met alle negatieve gevolgen van dien. Moderne bestrijding van ongewenste organismen vereist een subtiel en geïntegreerd management van verschillende bestrijdingswijzen. Het zal daarbij, zoals gesteld, vaak meer gaan om 'containment' dan om een volledige en een op elk moment 100% effectieve bestrijding.

4.4 Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's)

CFK's zijn stoffen met chemische en fysische eigenschappen die ze zeer aantrekkelijk maakten voor een groot aantal toepassingen. Zij zijn onder normale omstandigheden chemisch vrijwel inert en in de gebruikelijke concentraties nauwelijks giftig⁵⁵. In termen van volksgezondheid en welvaart hebben zij een grote bijdrage geleverd.

In 1986 - een jaar voorafgaande aan de ondertekening van het Protocol van Montreal, waarin door verschillende landen vermindering van de productie werd overeengekomen - werd er in de hele wereld ongeveer 1 miljard kilo CFK's gebruikt, waarvan 26 % in de Verenigde Staten en 1,4 % in Nederland. CFK's werden vooral gebruikt als drijfgas (spuitbussen), voor koeling en airconditioning, als blaasmiddel (vooral in polyurethaanschuim (PUR)) en als oplos- en reinigingsmiddel (precisie-apparatuur, elektronica). In tabel 4.6 wordt voor het jaar 1986 de verdeling naar toepassing in de wereld gegeven⁵⁶.

Tabel 4.6 Toepassing van CFK's in 1986 (wereld)

drijfgas	26,3%
blaasmiddel	26,1
koeling/airconditioning	24,6
oplos/schoonmaakmiddel	16,0
overig	7,0
<hr/>	
totaal	100,0%

In de beginjaren zeventig werd door Molina en Rowland het vermoeden uitgesproken dat chloorfluorkoolwaterstoffen en enkele andere verbindingen zoals halonen - stoffen die naast fluor en koolstof, en soms ook chloor, het halogeen broom bevatten - de stratosferische ozonlaag zouden kunnen aantasten⁵⁷. Toen in 1985 met behulp van satellietmetingen een dramatische daling van de dikte van de ozonkolom boven de Zuidpool met grote zekerheid werd aangetoond, is een versnelling in de besluitvorming over de uitbanning van CFK's opgetreden. In 1985 werd het Verdrag van Wenen gesloten. In 1987 volgde de ondertekening van het Protocol van Montreal. In 1990 (Londen) en 1992 (Kopenhagen) werd dit Protocol verscherpt, terwijl op regionaal niveau door sommige landen nog verdergaande reductieschema's en actieprogramma's werden opgesteld (EG-verordening 594/91, CFK-Actieprogramma's zoals in Duitsland en Nederland). Het aangescherpte Protocol van Kopenhagen is ondertekend door 93 landen.

⁵⁵] Chloorfluorkoolwaterstoffen zijn overigens niet geheel onschadelijk. Bij hoge concentraties ($>20 \text{ g/m}^3$), zoals bijvoorbeeld wel in beroepsomgeving is voorgekomen, geven sommige CFK's onder meer huid- en slijmvliesirritaties, systematische effecten op het zenuwstelsel en aantasting van lever en nieren.

⁵⁶] A.M.E. Veldkamp en J.K.B.H. Kwisthout, 'Het behoud van de ozonlaag: van wereldwijde consensus tot nationaal beleid', Milieu-Tijdschrift voor milieukunde, 1992/1, 1-6

⁵⁷] M.J. Molina en F.S. Rowland, 'Stratospheric sink for chlorofluoromethanes', Nature, 249, 1974, 810-814.

4.4.1 Stand van zaken

De ozonlaag, waarvan het overgrote deel zich in de stratosfeer bevindt, absorbeert UV-straling van de zon. Aantasting van de ozonlaag geeft naar verwachting een verhoogde intensiteit van schadelijke UV-straling op het aardoppervlak. Deze verhoging lijkt onder meer te kunnen leiden tot een vergrote kans op huidkanker, onderdrukking van het immuunsysteem, oogaandoeningen, negatieve beïnvloeding van bepaalde plantensoorten, beschadiging van fyto- en zooplankton, versnelde veroudering van levende organismen en dode materialen (waaronder plastics) en beïnvloeding van de warmtehuishouding van de aarde. Het verband tussen golflengte, intensiteit en specifieke effecten is nog niet precies bekend.

Onderzoek van de laatste jaren heeft aangetoond dat stratosferische chemisch-fysische processen zeer ingewikkeld zijn. Vele factoren spelen een rol. Dit neemt niet weg dat er inmiddels een grote massa aan experimentele gegevens bestaat die wijst in de richting van een door halogeenradicalen (chloor, broom) gekatalyseerd fotochemisch-fysisch proces met als uitkomst een aanzienlijke neerwaartse verschuiving van het dynamische evenwicht tussen ozonvorming en ozonvernietiging⁵⁸. Dit proces treedt vooral op aan de Zuidpool. Topografische omstandigheden aldaar leiden in bepaalde perioden, vooral in september en oktober, tot geringe luchtmenging, hoge temperatuurgradiënten en daarmee samenhangend een geïsoleerde polaire vortex met sterke wolkvorming van ijskristallen. Een omgeving die zeer gunstig is voor heterogene halogeengestuurde katalyseprocessen. Deze processen hebben overigens niet per definitie ijskristallen nodig. Zij kunnen ook plaatsvinden aan het oppervlak van stikstofoxyde- en sulfaat-aerosolen, uitgestoten door vulkanen en, in mindere mate, door vliegtuigen. Op lagere breedtegraden kunnen zich in de stratosfeer in principe dezelfde processen voordoen. Doordat de omstandigheden minder extreem zijn, is echter te verwachten dat de ozondaling daar gemiddeld genomen minder groot zal zijn dan aan de Zuidpool. Op noordelijke breedtes tussen 40° en 60° zou tot nu toe een daling van rond 10% in de dikte van de ozonlaag zijn opgetreden. Wel doen zich op die breedtes natuurlijke fluctuaties voor van gemiddeld 35%⁵⁹. De totale hoeveelheid ozon wordt op die breedtes sterk bepaald door veel voorkomende fluctuaties in de hoogte van de tropopauze: de grens tussen de stratosfeer (met relatief veel ozon) en de troposfeer (met weinig ozon). De hoogte van de tropopauze wordt weer beïnvloed door horizontale en verticale luchtstromingen. Genoemde fluctuaties kunnen leiden tot een tijdelijk 'ozongat' boven West-Europa, zij het dat dit meestal veel minder diep zal zijn dan boven de Zuidpool (registratieminimum 280 Dobson-Units (DU) versus 150 DU, 'normaal' referentieniveau 350 DU). Recente berekeningen suggereren dat verhoging van de atmosferische concentratie van het broeikasgas CO₂, via een lagere stratosferische tempera-

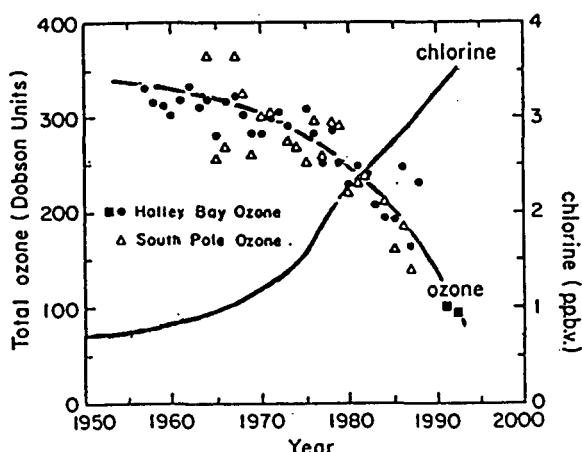
⁵⁸ Hierbij wordt gedacht aan drie verschillende katalytische processen. Twee daarvan hebben als uitkomst $2O_3 + h\nu \rightarrow 3O_2$ en de derde $O + O_3 \rightarrow 2O_2$. Deze processen verschuiven het dynamische evenwicht tussen ozonvorming ($3O_2 + h\nu \rightarrow 2O_3$) en natuurlijke ozonvernietiging - vermoedelijk vooral door natuurlijk gevormd methylchloride, en wellicht ook methylbromide - in neerwaartse richting.

⁵⁹ K.M. Towe, 'Stratospheric Ozone Trends', Science, 257, 7 augustus 1992, 727.

tuur, ook aan de Noordpool zou kunnen leiden tot wolkvorming met ijskristallen en andere aërosolen en daarmee tot een diep 'ozongat' ⁶⁰.

Figuur 4.10 geeft een beeld van het tijdsverloop van de totale 'dikte' van de ozonlaag en van de stratosferische chloorconcentratie. De meest recente metingen uit 1991 en 1992 bevestigen de trendmatige ontwikkeling die eerder is ingezet.

Figuur 4.10 Ozonlaagdikte en stratosferische chloorconcentratie (Zuidpool)



Bron: S. Solomon, 'Progress towards a quantitative understanding of Antarctic ozone depletion', *Nature*, vol. 347, 27 september 1990. Aangevuld met metingen uit 1991 en 1992 (Halley Bay), *Science*, vol. 260, 23 april 1993.

Een belangrijk punt is in hoeverre de daling in de dikte van de ozonlaag inderdaad ook heeft geleid tot een verhoging van schadelijke UV-straling op het aardoppervlak. Trendmatige ontwikkelingen in de intensiteit van deze straling zijn moeilijk te meten omdat veel troposferische factoren een verstoorende en maskerende invloed hebben. In een recent onderzoek hebben Kerr en McElroy in Canada een intensiteitsstijging gevonden die qua grootte, golflengte-afhankelijkheid en tijdsverloop in overeenstemming zou zijn met de eerder geconstateerde trendmatige daling van de totale hoeveelheid ozon aldaar ⁶¹.

Niet al het chloor in de stratosfeer is van antropogene oorsprong. Bij een grote vulkaanuitbarsting wordt, naast andere aërosolen, een hoeveelheid chloor uitgestoten die vele malen groter is dan de antropogene jaarlijkse emissies. Verschillende observaties geven echter aan

⁶⁰] J.Austin, N. Butchart, K.P. Shine, 'Possibility of an Arctic ozone hole in a doubled-CO₂ climate', *Nature*, 19 november 1992, 221-225.

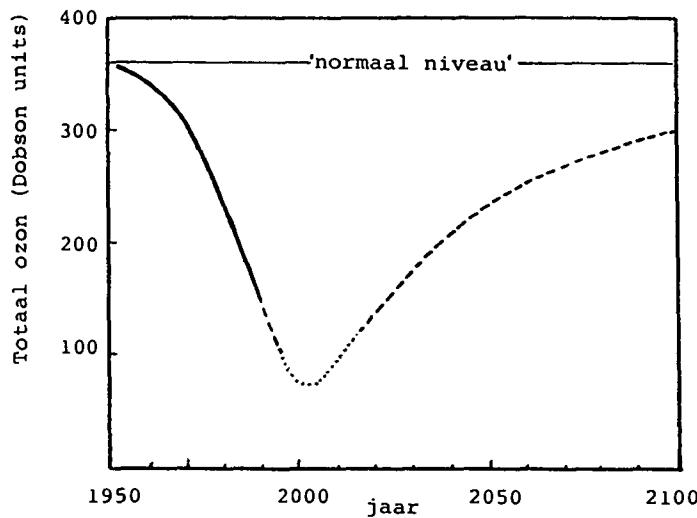
⁶¹] J.B. Kerr en C.T. McElroy, 'Evidence for Large Upward Trends of Ultraviolet-B Radiation linked to Ozone Depletion', *Science*, vol. 262, 12 november 1993.

dat vulkaanuitbarstingen vermoedelijk nauwelijks bijdragen aan de stratosferische chloorbelasting, dit ondanks de zeer hoge chloor-emissie. Tabazadeh en Turco geven daarvoor een eenvoudige verklaring: tijdens en vlak na een vulkaanuitbarsting vindt, door de waterdamp die ook bij deze uitbarsting wordt gevormd, uitwassing plaats van HCl ('HCl-scavenging'). Dit zou de hoeveelheid beschikbaar HCl met een factor 10^{-4} verlagen, tot een niveau dat niet meer significant is⁶². Conform deze bevindingen is de constatering dat de twee grote vulkaanuitbarstingen van de laatste vijftien jaar - El Chinchon in 1982 en Mount Pinatubo in 1991 - nauwelijks invloed lijken te hebben gehad op de stratosferische chloorconcentratie.

Naast vulkanen bestaan ook andere (mogelijke) natuurlijke bronnen. Zo worden in de natuur, voornamelijk door macro-algen, methylchloride en methylbromide gevormd. Het natuurlijk gevormd methylchloride is hoogstwaarschijnlijk de belangrijkste oorzaak van de stratosferische achtergrondconcentratie van ongeveer 0,7 p.p.b.v. in 1950, zie figuur 4.10. Dit is ongeveer 20% van de huidige chloorconcentratie in de stratosfeer. Over de precieze verdeling tussen antropogene en natuurlijke bronnen bestaat nog onzekerheid. De resultaten van onderzoek - berekeningen en metingen - hebben echter tot nu toe steeds weer de hypothese bevestigd dat de recente aantasting van de ozonlaag voornamelijk een antropogene oorsprong heeft.

De reductie van de emissie van ozonlaag-aantasters zoals beoogd in Kopenhagen, zal slechts na lange tijd leiden tot het verdwijnen van de aantasting van de ozonlaag. Op basis van de huidige kennis over stratosferische vervalprocessen, is een ontwikkeling te verwachten zoals weergegeven in figuur 4.11.

Figuur 4.11 Verwachte ontwikkeling van het Antarctische 'ozongat'
(reductieschema Kopenhagen)



Bron: WRR, op basis van gegevens van M.J. Prather en R.T. Watson (1990), WMO (1992) en S.Solomon (1990).

⁶² A. Tabazadeh en R.P. Turco, 'Stratospheric Chlorine Injection by Volcanic Eruption: HCl Scavenging and Implications for Ozone', Science, vol. 260, 21 mei 1993.

Figuur 4.11 is in zijn precieze vorm natuurlijk speculatief. De onzekerheden zijn nog groot. Waar het hier echter om gaat, is dat de figuur laat zien dat het Antarctische ozongat, zelfs bij een volledige eliminatie van de emissie van ozon-aantasters op korte termijn, waarschijnlijk pas tegen het einde van de 21e eeuw zal zijn verdwenen. Voor wat betreft de maximale diepte van het ozongat, kan worden opgemerkt dat het stratosferische ozon op de hoogte waar aan de Zuidpool normaal de wolken met ijskristallen worden gevormd - tussen 15 en 20 km - in de maanden september en oktober het ozon al volledig is vernietigd. Een verdere verhoging van de halogeencconcentratie zou daarom minder effect kunnen hebben. Dit wordt echter gelogenstraf door de trendmatige ontwikkeling en door de meest recente metingen, zie figuur 4.10. Er bestaat het vermoeden dat door vernietiging van ozon de stratosfeer afkoelt, hetgeen tot gevolg heeft dat de wolken ook op lagere en grotere hoogten worden gevormd. In dat geval zou sprake zijn van een positieve terugkoppeling die het ozongat verder kan verdiepen.

Ter afronding moet nog worden vermeld dat zich verschillende combinatie-effecten kunnen voordoen. Zo geeft recent onderzoek aan dat voortgaande atmosferische toevoeging van CO₂ en CH₄ er zelfs toe kan leiden dat de natuurlijke hoeveelheid chloor - voornamelijk door methylchloride uit algen - op zich al voldoende is om een diep ozongat te bewerkstelligen en in stand te houden⁶³. Het is, dit gegeven zijnde, niet onmogelijk dat figuur 4.11 zeer optimistisch is en dat de eliminatie van CFK's slechts het begin is van een lange strijd voor het behoud van de ozonlaag.

4.4.2 Voortgang bij de vervanging van CFK's

De wereldproduktie van CFK's is in de jaren 50 en 60 met gemiddeld 12% per jaar gegroeid. In de periode na 1989 heeft zich een drastische daling voorgedaan, met meer dan 40% in gewichtstermen, zie figuur 4.12.

Het Protocol van Montreal zoals dat in Kopenhagen in 1992 werd bijgesteld, voorziet in een 100% reductie van de produktie van CFK's per 1 januari 1996. Uitzondering wordt gemaakt voor de produktie van CFK's als grondstof, bijvoorbeeld voor de produktie van bestrijdingsmiddelen. Voor andere ozon-aantastende gassen, zoals methylchloroform of methylbromide, is een ander tijdpad vastgesteld. Voor de bodem-ontsmetter methylbromide is eind 1993 door 17 ontwikkelde landen afgesproken de emissie in het jaar 2000 ten opzichte van 1993 met 25% te verminderen.

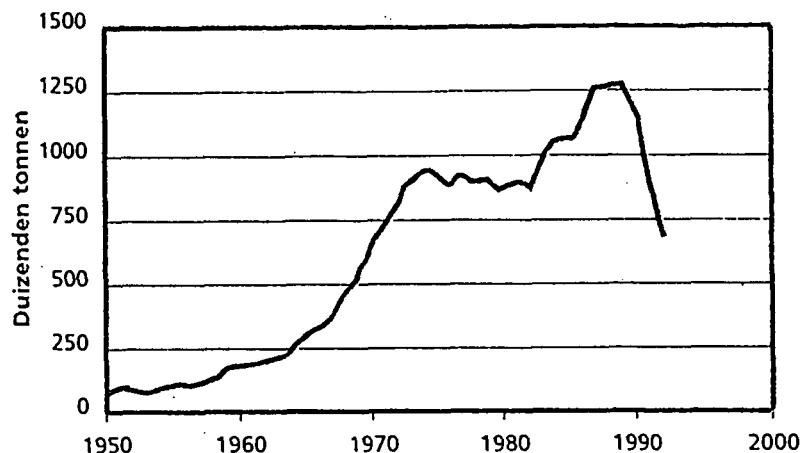
Om te komen tot een (verdere) vermindering van de emissie van CFK's en andere verbindingen met een hoog ozon-aantastend vermogen, wordt al geruime tijd gewerkt langs de volgende wegen: vervanging van deze stoffen door HCFK's en HFK's⁶⁴, vervanging door geheel andere stoffen, zoals dimethylether, alkanen, stikstof, lucht en waterdamp en, verder, besparing

^{63]} S.F. Singer, 'Ozone Depletion Theory', Science, vol. 261, 27 augustus 1993, 1101.

^{64]} Door introductie van waterstofatomen bij behoud van fluor in CFK's kunnen stoffen worden gemaakt met een kortere atmosferische levensduur en daarmee een verminderd ODP ('Ozone Depletion Potential'), zonder dat zij daarbij sterk toxisch zijn of een groot brandgevaar opleveren: de HCFK's en de HFK's. De HCFK's worden ook wel aangeduid als 'zachte' CFK's.

op het verbruik van ozon-aantasters door kringloopsluiting en/of stopzetting van de activiteit waarvoor de ozon-aantasters werden gebruikt.

Figuur 4.12 De wereldproduktie van CFK's



Bron: *Vital Signs*, Worldwatch Institute, Washington, 1992.

Sommige H(C)FK's, zoals HCFK-22 en HCFK-142b, en andere CFK-vervangers, zoals dimethyl-ether en alkanen, hebben voor bepaalde toepassingen een 'drop-in' karakter. Er zijn in die gevallen geen noemenswaardige aanpassingen van de desbetreffende apparatuur of goederen nodig om dezelfde functie te kunnen blijven vervullen. Schadelijke CFK's kunnen door deze 'drop-ins' snel worden geëlimineerd. Een voorbeeld van een dergelijke snelle eliminatie was het gebruik van CFK's in sputtbussen: in Nederland werd tussen 1986 en 1991 het gebruik van 'harde' CFK's daar gereduceerd met 95%, van 3800 ton per jaar naar 180 ton per jaar⁶⁵.

De vervanging van CFK's door H(C)FK's is niet zonder problemen. De volgende zaken kunnen worden genoemd:

- H(C)FK's kunnen bij ruim gebruik een aanzienlijke bijdrage geven aan het broeikaseffect. Zowel de H(C)FK's als de CFK's zijn in feite veel sterkere broeikasgassen dan CO₂. Bij gelijke atmosferische concentratie is bijvoorbeeld het klimaat-forcerende effect van HCFK-22 ongeveer 6000 maal groter

⁶⁵

CFK-Aktieprogramma, Jaarrapportage 1991, CFK-commissie, 27 mei 1992.

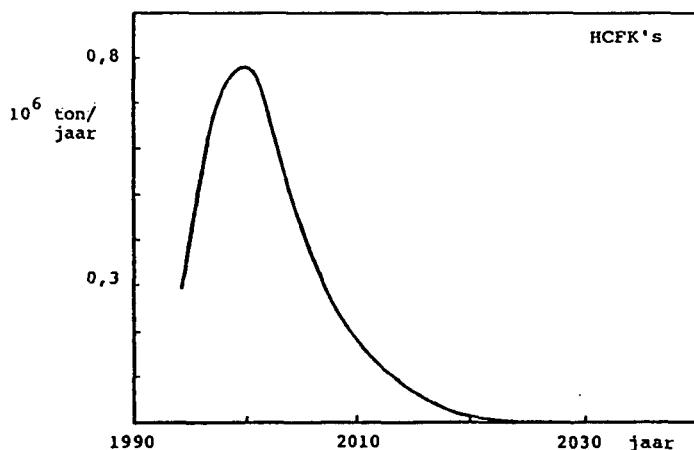
dan dat van koolzuurgas. De totale bijdrage van CFK's aan het broeikaseffect wordt voor dit moment geschat op 21%⁶⁶.

HCFK's hebben een minder groot ODP - ozonaantastend vermogen - dan CFK's. De gebruikelijke ODP-waarde is echter een limietwaarde die slechts na lange tijd, soms na meer dan 100 jaar, wordt bereikt. Op korte termijn moet met andere, hogere, waarden worden gerekend. Zo is voor HCFK-22 na 5 jaar het ODP 0,2, na 50 jaar 0,1 en na 200 jaar pas 0,05. Bij HCFK-123 is het ODP na 5 jaar zelfs het tienvoudige van het ODP na 100 jaar: 1,0 versus 0,1. Op korte termijn geven sommige HCFK's, bij open toepassing, daarom een aanzienlijk bijdrage aan de aantasting van de ozonlaag⁶⁷. Dit is met name van belang omdat, bij uitvoering van het aangescherpte Protocol van Montreal, de komende 10 tot 20 jaar de afbraak van de ozonlaag maximaal zal zijn (zie figuur 4.10).

H(C)FK's zijn over het algemeen vrij uitvoerig onderzocht op acute toxiciteit voor de mens. Voor de meeste H(C)FK's bestaat echter nog weinig zekerheid over de schadelijkheid van atmosferische vervalprodukten.

In Kopenhagen is door de daar aanwezige partijen afgesproken de H(C)FK's te zien als overgangsprodukten. De maximale produktie van deze stoffen zal worden beperkt tot 0,8 miljoen ton, om ze vervolgens in 2030 volledig uit te bannen, zie figuur 4.13.

**Figuur 4.13 Overeengekomen maximale produktie van HCFK's
(Kopenhagen Protocol)**



Bron: WRR, gebaseerd op D. McKenzie, 'Agreement reduces damage to ozone layer', *New Scientist*, 5 december 1992, 10.

⁶⁶] Het is niet onmogelijk dat het broeikaseffect van CFK's en HCFK's (grotendeels) wordt gecompenseerd door de temperatuurdaling van de stratosfeer ten gevolge van het ozonverlies aldaar. Dit geldt niet voor HFK's. (V.Ramaswamy, M.D. Schwarzkopf en K.P. Shine, *Nature*, 355, 1992, 810-812).

⁶⁷] S.Solomon en D.L. Albritton, 'Time-dependent ozone depletion potentials for short- and long-term forecasts', *Nature*, vol. 357, 7 mei 1992.

4.4.3 Nog noodzakelijke maatregelen

Een reductie van ozonlaag-aantasters zoals in Kopenhagen wordt voorzien, gaat niet zonder voorwaarden. Op een aantal terreinen zal nog een aanzienlijke inspanning nodig zijn om het gestelde doel c.q. tijspad wereldwijd te halen. Het is niet alleen een technisch probleem, maar vooral ook een organisatorisch probleem. De volgende punten zijn van belang:

- meer aandacht voor handhaving*

Bij de scherpe daling van de produktie van CFK's die vanaf 1989 is opgetreden, gaat het tot nu toe vooral om de relatief 'eenvoudige' reducties, zoals van het gebruik van CFK's in sputerbussen. Verdergaande reductie zal meer tegenkrachten oproepen. Handhaving zal vermoedelijk een belangrijk probleem worden. Wereldwijd moeten goede mechanismen worden gevonden om te komen tot een succesvolle uitvoering van het Protocol van Montreal/Kopenhagen. De toegestane ongelimiteerde produktie van CFK's als grondstof voor andere chemicaliën, de import/exportbewegingen van gerecycleerde CFK's en de mogelijkheid van uitzondering voor 'essential uses' vormen hier zwakke punten. Gebrek aan controle en handhaving kan goedwillende producenten in een zeer nadelige positie plaatsen.

- verdere kringloopsluiting*

In de keten bevinden zich nog aanzienlijke voorraden CFK's en andere (potentiële) ozon-aantasters, zoals halonen. Deze voorraden worden geschat 2 à 3 jaar wereldproduktie 1989. Emissie van deze voorraden kan een niet-verwaarloosbare verergering (~10%) en verlenging (ruim 10 jaar) van de ozon-aantasting geven. Maatregelen zijn nodig om te voorkomen dat deze voorraden worden geëmitteerd, waar nodig en effectief door kringloopsluiting.

Aangezien sommige HCFK's op korte termijn een aanzienlijke aantasting van de ozonlaag kunnen geven en HFK's een bijdrage leveren aan het broeikasseffect, is ook bij deze stoffen, voor zover gebruikt, kringloopsluiting noodzakelijk.

- ontwikkeling van goede CFK-vernietingstechnologie*

In een aantal gevallen is hergebruik weinig effectief, in milieu-opzicht en/of in kostenopzicht. In dat geval zal moeten worden overgegaan tot vernietiging van de desbetreffende ozonlaagaantasters. Hiervoor dienen goede destructietechnologieën te worden ontwikkeld. Naast verbranding kan ook gedacht worden aan andere technieken. Vooral in Japan wordt hieraan momenteel veel aandacht gegeven.

- verdere ontwikkeling van goede vervangers*

Voor een aantal toepassingen is verder onderzoek is nodig om de economische, technische, milieu-hygiënische en ecologische eigenschappen van vervangers nader te preciseren. Door een gerichte technologische inspan-

ning moet aldaar worden gekomen tot een snelle verbetering van de vervangers. De huidige technologische inspanning blijft te dicht bij het bestaande. Voor werkelijke verbetering is in een aantal gevallen een overstap naar essentieel andere stoffen of methoden noodzakelijk.

opleiding

Vervangende stoffen vragen meestal een andere aanpak en andere voorzieningen dan de conventionele CFK's. Technische opleidingen moeten aan de nieuwe vereisten worden aangepast. Elementaire onvolkomenheden, zoals een gebrek aan goede en gemotiveerde installateurs, kunnen de eliminatie van CFK-emissie aanzienlijk vertragen.

opheffing van informatietekorten

Informatie over mogelijkheden van vervanging en verdere verbetering van vervangers moeten worden verspreid. Met name in kleinere bedrijven is kennis over de mogelijkheden vaak te weinig aanwezig. Hier ligt een taak voor leveranciers, brancheorganisaties, technologisch georiënteerde instituten en overheden.

ondersteuning van minder sterke economieën

Alhoewel ontwikkelingslanden momenteel slechts ongeveer 15% van het wereldverbruik van CFK's voor hun rekening nemen, is een goede regeling ter ondersteuning en waar nodig ter schadeloosstelling van de eliminatie van CFK's, en eventueel ook van H(C)FK's, in die landen van groot belang. Dit stelt onder meer eisen aan de (in)vulling, de toepassing en de uitvoering van het zogenaamde Ozonfonds (Interim Multilateral Fund) voor 'Artikel 5'-landen. Verder moet worden gezocht naar effectieve vormen van technologie-overdracht.

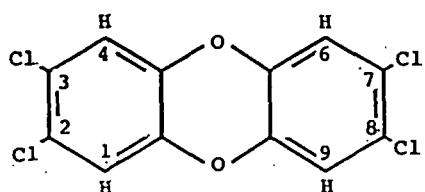
In Nederland worden in het kader van het CFK-aktieprogramma - een samenwerkingsproject van overheid en bedrijfsleven - de algemene doelstellingen van het beleid vertaald naar concrete acties. Zaken als opleiding, opheffing van informatietekorten en kringloopsluiting krijgen daarbij ruim aandacht. In sommige andere landen bestaan soortgelijke commissies. Veel landen zijn echter wat dat betreft, en daarmee meestal ook met de eliminatie van de emissie van CFK's, minder ver. De CFK-keten is op wereldniveau nog lang niet (af)gesloten. Verder dient, nogmaals, te worden opgemerkt dat het afsluiten van de CFK-keten mogelijk slechts het begin is van een lange strijd voor het behoud van de ozonlaag.

4.5 Gechloreerde dioxinen en furanen

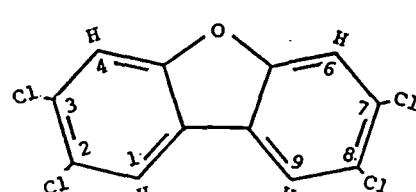
Sommige chemische verbindingen zijn reeds bij lage doses zeer schadelijk. Een voorbeeld zijn de polychloordibenzo-para-dioxinen en -furanen. Uit dierproeven is gebleken dat deze stoffen reeds in het microgramgebied dodelijk kunnen zijn. De dioxine 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetrachloordibenzo-p-dioxine) is door velen gezien als een van de meest giftige stoffen die ooit door de mens is gemaakt en getest. Bij een aantal menselijke activiteiten wordt de stof als bijproduct gevormd. Dioxinen komen ook in geringe mate in de vrije natuur voor.

4.5.1 De schadelijkheid nader bekeken

De gechloreerde dioxinen en furanen vormen een groep van 210 verschillende verbindingen. Er zijn in totaal 75 dioxinen en 135 furanen. Zij bestaan uit door zuurstof gekoppelde benzeenringen waarbij een of meer waterstofatomen is vervangen door chloor. Ook andere halogenen, zoals broom of combinaties van chloor en broom, zijn mogelijk.



2,3,7,8-TCDD



2,3,7,8-TCDF

In 1872 werd door Merz en Weith voor het eerst een (gechloreerde) dioxine geïsoleerd en beschreven. Aan het eind van de jaren 50 werden in enkele laboratoria voor onderzoeksdoeleinden relatief grote hoeveelheden dioxinen gesynthetiseerd. Het ging daarbij soms om grammen. De schadelijke korte-termijn effecten van dioxinen, met name chloor-acné, werden toen voor het eerst zichtbaar. De gevolgen van het gebruik van de herbicide 2,4,5-T (in Agent Orange, samen met 2,4-D) tijdens de Vietnamese oorlog hebben het besef van de schadelijkheid van dioxinen sterk vergroot. De toxiciteit van 2,4,5-T bleek vooral te moeten worden toegeschreven aan verontreiniging door 2,3,7,8-TCDD. Ook andere gebeurtenissen, zoals het ongeluk met de trichloorfenoïlproductie in Seveso (1976) en de Yusho-voedselvergiftiging in Japan (1968), hebben een belangrijke rol gespeeld.

Zoals gesteld, zijn er vele verschillende gechloreerde dioxinen en furanen. *Zij zijn niet alle even schadelijk.* Zeer bepalend lijkt te zijn het aantal chlooratomen - per dioxine- of furaanmolecuul kan dit variëren van 1 tot en met 8 - en de plaats van de chlooratomen in het molecuul. Een voorbeeld van het laatste is het verschil in giftigheid tussen het 2,3,7,8-isomeer en het 1,3,6,8-isomeer van tetrachloordioxide⁶⁸. Dit verschil is, volgens de thans beschikbare gegevens,

⁶⁸ Isomeren zijn moleculen die dezelfde atomen bevatten, maar die een andere ruimtelijke configuratie hebben. Moleculen met dezelfde basisstructuur, maar met verschillende atomen worden congeneren genoemd.

meer dan een factor 1.000.000⁶⁹. De meest toxische verbindingen lijken te zijn de congeneren met chlooratomen op de vier buitenste hoekpunten: de posities 2, 3, 7 en 8. Er zijn daarvan 8 dioxinen en 9 furanen.

Verder is de giftigheid van een gechloreerde dioxine of furaan *sterk afhankelijk van de diersoort in kwestie*. Zo is de orale LD-50-waarde - de waarde van blootstelling waarbij 50% van de blootgestelde organismen binnen korte tijd overlijdt - van een hamster voor de dioxine 2,3,7,8-TCDD ruwweg 5000 keer groter dan die van een cavia.

Chronische blootstelling aan hoeveelheden ver beneden de lethale dosis heeft bij proefdieren geleid tot een veelheid van ernstige aandoeningen van huid, zenuwstelsel, immuunstelsel, interne organen, hormoonstofwisseling en voorplantingsfunctie. Bij de mens is de zaak minder duidelijk. Vooral huidaantasting (chlooracné) en immunotoxicologische effecten lijken voorop te staan⁷⁰. Bij kleine kinderen, die via borstvoeding tijdelijk aan hoge doses werden blootgesteld, zou een significante correlatie zijn gevonden tussen de blootstelling aan dioxinen en de bloedspiegels van schildklier- en thyroïd stimulerend hormoon. Tevens werd een positieve correlatie gezien tussen intracraniële bloedingen en de concentratie van 2,3,7,8-TCDD in het vet uit de moedermelk⁷¹. Ook zijn psycho-motorische ontwikkelingsstoornissen gemeld.

Na incidentele hoge blootstelling, zoals van werknemers die betrokken waren bij industriële ongelukken, is ernstige schade aan zenuwstelsel en interne organen geconstateerd. In recente mortaliteitsonderzoeken van werknemers van de chemische industrie die zijn blootgesteld aan dioxinen, is een verhoging van de sterfte aan kanker geconstateerd⁷². Aangezien bij werk in de industrie en bij industriële ongelukken veelal ook andere stoffen in het spel zijn, is het moeilijk uit te maken of de gevonden effecten vooral aan dioxinen moeten worden geweten. Bij mensen die betrokken waren bij het ongeluk in Seveso (1976) werd onlangs een significant geachte verhoging van het voorkomen van non-Hodgkin lymphoma en soft-tissue sarcoma gemeld. De statistische relevantie van deze resultaten zijn nog onderwerp van discussie.

Over de effecten van chronische blootstelling van de mens aan zeer lage doses dioxinen of furanen bestaat nog veel onzekerheid. Het is bijzonder moeilijk op epidemiologische gronden tot sluitende bewijsvoeringen te komen. Door de grote variatie tussen diersoorten, kunnen

⁶⁹] R.J. Kociba en B.A. Schwetz, Drug Metab. Rev., 13, 1982, 387-406.

⁷⁰] H.J. Schuurman, H. van Loveren, J.G. Vos, 'Dioxine sterk immunotoxisch', Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde, 136, 1992, 2406-2410.

⁷¹] H.J. Pluim, 'Dioxins pre- and postnatal exposure in the human newborn', Academisch Proefschrift, Universiteit van Amsterdam, 2 juni 1993.

⁷²] In de VS werd in een cohorte van 5172 personen uit 12 verschillende chemische fabrieken een extra mortaliteit van 15% aan kanker geconstateerd. Bij onderverdeling in een groep met lage blootstelling (< 1 jaar, dosis < 90x WHO-norm) en een groep met hoge blootstelling (> 1 jaar, dosis > 90x WHO-norm) werd bij de eerste groep geen significante extra mortaliteit gezien en bij de tweede groep een verhoging met 50% (M.A. Fingerhut et al., The New England Journal of Medicine, vol. 324, 24 januari 1991). In een ander recent onderzoek werd na blootstelling in beroepsomgeving een significante verhoging van het optreden van borstkanker geconstateerd. (A. Manz et al., 'Cancer mortality among workers in chemical plants contaminated with dioxin', The Lancet, vol. 338, 1991, 959-964).

resultaten verkregen met proefdieren niet zonder meer worden overgebracht op de mens.⁷³ Verder is het onbekend in hoeverre dosis-effectrelaties lineair naar lage doses kunnen worden geëxtrapoleerd. De statistieken waarop de analyses steunen, zijn veelal onbetrouwbaar, vooral als het gaat om niet-lethale ziekten. Dergelijke onzekerheden zijn van invloed op de norm voor wat als een acceptabele chronische blootstelling wordt gezien. In de Verenigde Staten is het afgelopen decennium door het Environmental Protection Agency (EPA) met de norm 0,006 picogram TCDD-equivalent per kilogram lichaamsgewicht per dag (0,006 pg I-TEQ/kgdag) gewerkt.⁷⁴ In een recente studie kiest het EPA opnieuw voor deze norm. In andere landen is de norm vaak veel hoger. In Nederland werd bijvoorbeeld tot voor kort 4 picogram I-TEQ/kgdag gezien als een acceptabele waarde: bijna een factor 1000 hoger. Sinds 1991 wordt, op voorstel van World Health Organization, de waarde van 10 pg I-TEQ/kgdag aangehouden. De verklaring van de discrepantie tussen de EPA-norm en de WHO-norm is niet ingewikkeld.⁷⁵ Bij de Amerikaanse norm wordt uitgegaan van een extra kans op overlijden aan kanker van 1 op 10^6 , gerekend over de hele levensduur van een mens. Een dergelijke extra kans wordt aanvaardbaar c.q. insignificant geacht. Extrapolatie van de resultaten van proeven met ratten leidt, bij gebruikmaking van een gestandaardiseerde 'safety factor', dan tot de waarde 0,006 pg I-TEQ/kgdag. Andere landen ontkennen het carcinogene effect van dioxinen, en gaan uit van andere non-carcinogene effecten. Een dagelijkse norm van 10 pg I-TEQ/kgdag zou, volgens de Amerikaanse norm en aanpak, een extra risico op kanker betekenen van 1 op 600, weer gerekend over de gehele levensduur. Voor Nederland met een bevolking van 15 miljoen zou dit overeenkomen met ongeveer 400 extra kankergevallen per jaar.

De laatste jaren is veel kennis verkregen over de werking van dioxinen en furanen op moleculair en cellulair receptor-niveau. Er zijn verschillende indicaties dat in de reeks van gebeurtenissen die uitmondt in schadelijke effecten de binding met stereospecifieke Aromatic (of Aryl) Hydrocarbon (Ah)-receptoren een essentiële eerste stap is. De stereo-selectiviteit van de receptoren geeft een verklaring van de grote verschillen in giftigheid tussen de verschillende dioxine- en furaancongeneren. Voor een schadelijke werking is het nodig dat het receptor-dioxine complex wordt geactiveerd en transport optreedt naar de celkern waar interactie met DNA kan plaatsvinden. De ervaring leert dat voor een dergelijke activatie vele receptoren bezet moeten zijn: vermoedelijk enkele honderden tot enkele duizenden. Dit zou betekenen dat een lineaire dosis-effectrelatie onwaarschijnlijk is. Boven een zeker niveau van blootstelling nemen de schadelijke gevolgen meer dan proportioneel toe. Beneden dit niveau is de schadelijkheid minder groot dan op basis van een naar lage doses geëxtrapoleerde lineaire dosis-effectrelatie zou kunnen worden verwacht. Tentatieve schattingen op basis van de Ah-receptortheorie

⁷³ Tijdens de Banbury Conference (Cold Spring Harbor Laboratory, oktober 1990), was wel een algemene conclusie dat mens en dier kwalitatief op gelijke wijze op dioxinebelasting reageren: enzym-inductie, immunotoxiciteit en carcinogeniteit etc. De verschillen lijken vooral kwantitatief te zijn.

⁷⁴ Een picogram is gelijk aan 10^{-12} gram. De schadelijkheid van de verschillende dioxinen wordt veelal genormeerd op de schadelijkheid van 2,3,7,8-TCDD: er wordt gesproken van internationale toxiciteitsequivalanten, aangegeven met I-TEQ. De omrekeningsfactoren zijn nog onzeker.

⁷⁵ J.G.P. Born, 'On the formation of dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in combustion processes', proefschrift Leiden, 10 juni 1992, 29.

suggereren dat dit niveau voor de mens op ongeveer 1-3 pg I-TEQ/kgdag ligt⁷⁶. De gemiddelde chronische blootstelling in moderne economieën als de Verenigde Staten, Japan en West-Europese landen ligt daar niet ver vandaan: ruwweg 1,5 pg I-TEQ/kgdag. Dit zou betekenen dat er in de praktijk nauwelijks of geen ruimte is voor een grotere blootstelling dan nu gebruikelijk lijkt te zijn. Zoals gesteld, ligt de huidige blootstelling aan dioxinen en furanen in de meeste moderne economieën al rond het niveau waarboven de schadelijkheid snel lijkt te stijgen. Een norm van 10 pg I-TEQ/kgdag zou in dit kader te hoog kunnen worden gevonden. Het geheel overzilende, moet worden gesteld dat ook hier de onzekerheid nog groot is. Het niveau waarboven de schadelijkheid snel stijgt, is nog nauwelijks bekend. De bovenvermelde waarde van 1-3 pg I-TEQ/kgdag is slechts een ruwe schatting 'uit de losse pols'. Verder moet erop worden gewezen dat ook andere stoffen zich aan de Ah-receptoren kunnen binden, zoals polycyclische aromaten (PAK's) en heterocyclische stikstofverbindingen. In de praktijk zijn daarom verschillende combinatie-effecten te verwachten, een voorbeeld van wat eerder werd gesteld in 3.3.5. Tot slot moet worden gewezen op het feit dat, alhoewel de Ah-receptortheorie de laatste jaren sterk aan aanhang heeft gewonnen, een toxicische respons via andere mechanismen nog niet geheel kan worden uitgesloten.

De centrale rol van receptoren heeft recentelijk aan de discussie rond synthetische organochloren een extra accent gegeven. De verdenking is gerezen dat verschillende chloorverbindingen, waaronder dioxinen en furanen, polychloorbifenylen (PCB's) en chloorhoudende bestrijdingsmiddelen als atrazine, endosulfan en DDT (met name het vervalprodukt DDE) sterk lijken op oestrogenen: natuurlijke hormonen die vooral voor de voortplanting van belang zijn. Door genoemde gelijkenis zouden de desbetreffende organochloorverbindingen en oestrogenen aan dezelfde receptoren binden. Zeer lage testosteronníeveau's in verschillende diersoorten, een toenemend aantal afwijkingen in geslachtsfuncties en -organen bij mens en dier, een dalende vruchtbaarheid en een toenemend aantal gevallen van borstkanker, zoals die door verschillende onderzoekers onder uiteenlopende omstandigheden zijn geconstateerd, zouden aan deze affiniteit met oestrogeenreceptoren kunnen worden geweten⁷⁷. Een verminderde vruchtbaarheid tezamen met de eerder genoemde immunotoxicologische effecten, waardoor een grotere gevoeligheid voor allerlei opportunistische ziekten, kan de kwetsbaarheid van diersoorten, waaronder de mens, sterk vergroten. Een zaak die vanuit het oogpunt van duurzaamheid niet onbelangrijk is⁷⁸.

Een discussie die steeds weer bij normstellingen terugkomt, betreft de relatieve risico's. Vooral Ames is een aanhanger van de gedachte dat natuurlijke toxinen een veel groter probleem vormen dan synthetische toxinen. Zo zou het risico op kanker bij een blootstelling van 10 pg I-TEQ/kgdag 120 maal lager zijn dan het risico op kanker door het alcohol in één glas bier per

⁷⁶] L.Roberts, 'Dioxin Risks Revisited', Science, vol. 251, 8 februari 1991.

⁷⁷] Als het alleen om een dalende vruchtbaarheid van de mens ging, dan zou deze zaak vanuit het oogpunt van duurzaamheid niet per definitie als negatief moeten worden beoordeeld.

⁷⁸] 'Environmental Estrogens Stir Debate', Science, vol. 265, 15 juli 1994, 308-310.

dag. De teratogeniteit zou zelfs een factor 3000 lager zijn⁷⁹. Een norm van 10 pg I-TEQ/kgd-ag zou in dat licht als zeer laag kunnen worden beschouwd. Over de juistheid en de betekenis van opvattingen als die van Ames wordt binnen toxicologische kringen zeer verschillend gedacht.

4.5.2 *Ontstaan, verspreiding en blootstelling*

Gechloreerde dioxinen en furanen worden, behalve voor onderzoek, niet moedwillig gesynthetiseerd. Zij ontstaan als bijproduct bij vele antropogene en natuurlijke activiteiten. In feite is het zo dat overal waar chloor aanwezig is, onder geschikte omstandigheden gechloreerde dioxinen en furanen kunnen ontstaan. Deze omstandigheden doen zich in de praktijk vaak voor. Een overzicht van processen wordt gegeven in tabel 4.8.

Tabel 4.8 Processen waarbij gechloreerde dioxinen vrijkomen

natuurlijk

- vulkaanuitbarstingen;
- bosbranden;
- composteringsprocessen (vooral formatie van matig schadelijke hepta- en octacongeneren);

antropogeen: tijdens produktiefase

- bij productie van sommige chloorhoudende produkten, vooral aromatische verbindingen, zoals chloorfenolen en chloorbenzenen, bestrijdingsmiddelen, ook wel bij productie van vinylchloride en epichloorhydrine;
- transport, verbranding van stookolie door schepen, chloorbron in olie zelf of via 'sea-spray';
- bereiding van staal, geraffineerd nikkel en magnesium, bij het sinteren en smelten van ijzerschroot en in de secundaire non-ferro-industrie (recycling van koper/brons/messing, lood en aluminium);
- papierproductie: pulpbleking met chloorhoudende middelen, gebruik van gechloreerd water bij pulpverwerking;
- verbranding van chloorhoudend industrie-afval;
- industriële ongevallen: ontsporing van chloorhoudende processen, branden met PCB's.

antropogeen: tijdens consumptie- en afvalfase

- gebruik van open haarden, allesbranders, barbecue, tuinfakkels;
- verbrandingsmotoren, transport (gelode benzine, 'scavengers' dichloorethaan en dibroomethaan (geeft gebromeerde dioxinen)), verbranding van afgewerkte olie;
- via papier (roken van sigaretten, extractie uit koffiefilterzakjes, babyluiers etc.);

⁷⁹

B.N. Ames en L.S. Gold, Science, vol. 249, 1990, 970.

- verdamping uit verduurzaamd hout (pentachloorfenolen), verbranding van dit hout;
- (onvolledige) verbranding van huishoudelijk afval;
- compostering, onder meer van huishoudelijk afval;
- verbranding van ziekenhuisafval, zuiveringsslib, stort- en biogas;
- accidentele branden waarbij chloor aanwezig is, bijvoorbeeld huisbranden;
- verdamping uit vuilnisbelten.

In Nederland werd in 1989, voor zover bekend, ongeveer 3 I-TEQ kg dioxinen uitgestoten: 965 gram naar de lucht, 4 gram naar water, 3 gram naar de bodem en 2027 gram gebonden aan vliegas, filterstof, roet, slib, hout en textiel. De laatste hoeveelheid werd grotendeels op gecontroleerde wijze gestort. Het afgelopen decennium heeft in de meeste landen de verbranding van huisvuil het overgrote deel - soms zelfs tot 90% - van de ongecontroleerde uitstoot van dioxinen en furanen voor haar rekening genomen. In Nederland zijn sinds 1989 de huisvuilverbrandingsinstallaties van Leeuwarden, Leiden en Zaanstad gesloten wegens een te hoge dioxine- en furaanuitstoot. In de buurt van deze installaties werden in koeiemelk concentraties van 14 pg I-TEQ/gram vet aangetroffen, terwijl 6 pg als maximaal acceptabele waarde wordt gehanteerd. Door deze sluitingen en door het aanbrengen van rookgaszuiveringsinstallaties bij de overgebleven installaties, is de totale emissie naar de lucht in Nederland inmiddels gedaald tot naar schatting ongeveer 400 g I-TEQ/jaar. Een nader overzicht van emissies volgt in tabel 4.9.

Dioxinen zijn zeer stabiele verbindingen. In de natuur is dechlorering onder invloed van zonlicht vrijwel het enige afbraakmechanisme. Onder bepaalde omstandigheden lijkt ook enige biotische omzetting plaats te vinden. Bij verhitting worden dioxinen pas boven 750°C afgebroken. Vanwege het hoge adsorptievermogen en de lage wateroplosbaarheid vindt transport van dioxinen in lucht of water vooral plaats gebonden aan vaste deeltjes (vliegas, roet, slib). Na adsorptie aan deeltjes vindt ook onder invloed van zonlicht nauwelijks meer afbraak plaats. Binnen de halfwaardetijd kunnen in de lucht bij gebruikelijke windsnelheden afstanden van meer dan 1000 km worden overbrugd. In Nederland werd in 1990 via de lucht ongeveer 500 g I-TEQ vanuit het buitenland geïmporteerd. Daar stond overigens wel een export van 730 g I-TEQ tegenover.

Dioxinen worden niet actief door planten opgenomen. Wel lossen zij gemakkelijk op in dierlijke vetten. De chronische blootstelling van de mens geschiedt vooral via voedsel, met name door de consumptie van zuivelprodukten, vlees en vis(olie). In Nederland namen deze drie produktgroepen in 1990 ongeveer 90% van de gemiddelde totale blootstelling voor hun rekening (zuivel 45%, vlees 24%, vis 22%). Sommige dioxinen blijven lang in het menselijke lichaam aanwezig. Vooral het zeer schadelijke 2,3,7,8-isomeer vertoont bioaccumulatie in zoogdieren. De halfwaardetijd in menselijk vet is 6 tot 10 jaar, hetgeen betekent dat van de hoeveelheid opgeslagen dioxine per jaar ruwweg 10% wordt uitgescheiden of gemetaboliseerd. Een halfwaardetijd van 6 jaar betekent dat de evenwichtsconcentratie bij cumulatie in vetweefsel bij benadering ruim een

factor 10.000 hoger is dan de dagelijkse opname⁸⁰. Dit heeft onder meer tot gevolg dat onder extreme omstandigheden, zoals bijvoorbeeld bij voedselgebrek, relatief grote hoeveelheden dioxine in de bloedbaan kunnen vrijkomen.

Bij verschillende organismen vindt bioaccumulatie plaats, met name bij zoetwatervissen waar bioconcentratiefactoren tot bijna 100.000 zijn gevonden. Uit veldstudies is gebleken dat bij hogere diersoorten, zoals visetende vogels en wormetende zoogdieren, vooral accumulatie van het meest schadelijke 2,3,7,8-TCDD plaatsvindt. Gegeven de huidige concentraties van dioxinen in water, bodem en lucht lijkt er voor (top)predatoren een reëel gevaar te bestaan voor doorvergiftiging via biomagnificatie⁸¹.

Tabel 4.9 Schatting van de dioxine-emissie in Nederland (1990)
(in I-TEQ-grammen per jaar)

	lucht	emissie water	bodem	gebonden
- Verbranding van stedelijk afval				
AVTs	410			1200
bij bedrijven	1.6			
- Verbranding van chemisch afval	43	1	41	
- Verbranding stortgas, biogas, slib				
verbranding zuiveringsslib	0.05			
verbranding stortgas, biogas	0.2			
- Gebruik bestrijdingsmiddelen				
landbouwbestrijdingsmiddelen			0.6	
houtverduurzamingsmiddelen (PCP)	50			400
PCP als fungicide			2.2	7
- Metaalindustrie				
basismetaalindustrie	35			
secundaire non-ferroindustrie	7	0.5		15
IJzer/staal-smelterijen/gietterijen	3			
- Kabelafbranden				
legal	2			
in de open lucht	4			
- Verkeer	6			
- Ziekenhuisafvalverbrandingsinstallaties	4			
- Chemische processen				
productie van chloorefenolen, -benzenen				
alifatische chloorverbindingen, c.d.	3	2		
buiten de chemische industrie	2			
- Verbranden van olie (garagekachels, grote kachels, bunkerolie)	2			10
- Verbranden van hout (kachels, open haarden, industriële installaties)	16			80
- Branden, fakkels	9			50
- Diverse processen (o.a. bij industriële productie, verbranding bedrijfsafval, grondreinigingsinstallaties)	15			

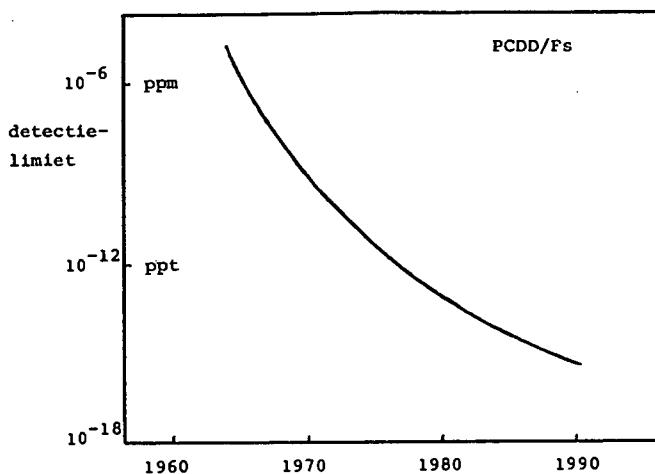
Bron: A.K.D. Liem et al, *Basisdocument Dioxinen*, RIVM, rapportnr. 710401024, februari 1993.

⁸⁰ Bij cumulatie geldt in eerste benadering $c(t) = \alpha - \beta c(t)$, met c de concentratie, α de dagelijkse inname en β de inverse van de relaxatietijd (= halfwaardetijd/ $\ln 2$). Dit leidt tot $c(t) = \alpha (1 - \exp(-\beta t)) / \beta$. Bij een dagelijkse inname van 1,4 pg/kg lichaamsgewicht, een lichaams/vetgewicht verhouding van 3,5 en een halfwaardetijd van 6 jaar geeft dit een evenwichtsconcentratie (α / β) van 15 ng/kgvet, ofwel ruwweg 300 ng/capita.

⁸¹ A.K.D. Liem, *Basisdocument Dioxinen*, RIVM, februari 1993, rapportnr. 710401024.

Dioxinen kunnen vrijwel overal worden aangetroffen. Niet in de laatste plaats hangt dit samen met de sterk verbeterde detectiemethoden. In de periode van 1960 tot 1990 is de gevoeligheid bij detectie van dioxinen met een factor van ongeveer een miljard toegenomen. Ook zijn de mogelijkheden om de congeneren afzonderlijk te meten zeer sterk verbeterd. In figuur 4.14 wordt de toename in gevoeligheid gevisualiseerd. De maximale mogelijkheden van detectie schuiven langzamerhand naar een gebied van afnemende toxicologische betekenis.

Figuur 4.14 Verbetering van detectiemethoden voor dioxinen en furanen



Bron: WRR, op basis van gegevens van J.G.P. Born, *On the formation of dibenz-p-dioxins and dibenzofurans in combustion processes*, proefschrift Leiden, 1992.

4.5.3 De dioxineproblematiek en de chloor-industrie

Er zijn, zoals aangegeven, vele processen waarbij dioxinen worden gevormd. Bij een deel van deze processen is de chloor-industrie niet of slechts zijdelings betrokken. Een nadere evaluatie van de rol van de chloor-industrie is op zijn plaats.

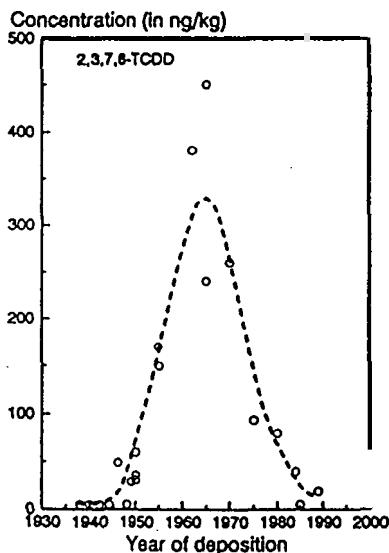
Twee vragen zijn van belang. De eerste vraag is welk deel van de emissie van dioxinen kan worden toegedeeld aan de chloor-industrie. En de tweede vraag is wat het voor de dioxineproblematiek zou uitmaken als de chloorindustrie haar productie zou stopzetten en de reeds geproduceerde chloorhoudende produkten niet meer zouden worden gebruikt. Zoals hieronder zal worden aangegeven, is het antwoord op deze twee vragen niet geheel gelijkluidend.

Onderzoek van sedimenten in meren en rivieren op verschillende plaatsen in de wereld heeft laten zien dat dioxinen meer dan 50 à 60 jaar geleden slechts in zeer geringe hoeveelheden voorkwamen. Er is een duidelijke correlatie tussen de toename van de hoeveelheid in sediment afgezet dioxine en de ontwikkeling van de chloor-industrie, met name van de productie van chloor-aromaten. Het congenerpatroon is goed in overeenstemming met de dioxinen die bij de betreffende industriële activiteiten werden gevormd. De industrie heeft een aanzienlijke erfenis

achtergelaten. Plaatselijk worden nog zeer hoge concentraties van dioxinen aangetroffen. In de Chemiehaven in Rotterdam bijvoorbeeld oplopend tot 4.000 ng I-TEQ/kg droge stof: een 40-voudige overschrijding van de huidige saneringsnorm. Een produktiefaciliteit van vinylchloride schijnt daar de belangrijkste lozingsbron te zijn geweest⁸².

De produktieprocessen van chloorverbindingen zijn de laatste 10 à 20 jaar in moderne industrieën over het geheel genomen zeer veel verbeterd. De bijdrage van deze processen aan de emissie van dioxinen is nu onder normale omstandigheden gering tot zeer gering. Zo werd in Nederland in 1991 door de gehele chloorchemie, voor zover bekend, niet meer dan enkele I-TEQ-grammen dioxine uitgestoten. Dit is slechts 1 à 2% van de totale antropogene dioxine-emissie. Niet alleen in Nederland, maar ook elders worden verbeteringen aangebracht. De effecten daarvan zijn onder meer zichtbaar in het dioxinegehalte van het slib van de Rijn, zie figuur 4.15. Zoals eerder aangegeven, hebben dioxinen die in water worden geloosd of daarnaar uitregenen een sterke neiging zich te binden aan (slib)deeltjes.

Figuur 4.15 De hoeveelheid dioxine (2,3,7,8-TCDD) gebonden aan Rijnslib, afgezet in het Ketelmeer



Bron: J.E.M. Beurskens c.s., 'Geochronology of priority pollutants in a sedimental area of the Rhine river', *Environmental Toxicology and Chemistry*, december 1993, 1549-1566.

Na een maximum in de jaren '60 is de industriële lozing van de meest gevvaarlijke dioxine 2,3,7,8-TCDD in de Rijn sterk gedaald. Ook de andere, minder schadelijke dioxinen vertonen een daling, zij het dat die meestal minder groot is. Het congenerpatroon van de sterk verminderde hoeveelheid dioxinen wijst nog wel op een overwegend industriële achtergrond.

^{82]} A.K.D. Liem, op.cit.

De directe emissie van dioxinen door de moderne chloor-industrie is relatief tot een zeer laag niveau gedaald. Als echter ook processen worden meegenomen waar chloorhoudende produkten van de chloor-industrie een rol spelen, dan ligt de relatieve bijdrage van de chloorindustrie hoger. Hoe hoog precies is moeilijk te zeggen. Er zijn zeer uiteenlopende schattingen mogelijk. Hierbij doen zich niet alleen praktische, maar ook theoretische toedelingsmoeilijkheden voor.⁸³ Als een massa-evenredige toedeling wordt gemaakt, dan zou de directe plus de indirekte bijdrage van de chloorindustrie op dit moment uitkomen op ruwweg 50 à 60% van de totale antropogene dioxine-emissie.

Voorgaande cijfers stoelen op de aanname dat ook bij niet-lineaire processen ieder beschikbaar chloor-atoom in principe dezelfde kans heeft te worden gebruikt voor de vorming van dioxine. Deze cijfers hebben echter weinig waarde als het gaat om de vraag welk verschil het zou maken als, onder voor het overige ongewijzigde omstandigheden, de produktie van de chloorindustrie volledig wordt stopgezet. Eliminatie van de geringe emissie tijdens de produktieprocessen zelf heeft nauwelijks invloed. Verwijdering van PVC uit huisvuil doet bij verbranding daarvan de emissie van dioxinen ook nauwelijks afnemen. Er bestaat daar immers geen eenduidig lineair verband tussen de emissie van dioxinen en de hoeveelheid beschikbaar chloor. Verder kan door stopzetting van de chloor-industrie nasleep uit vroegere activiteiten niet worden voorkomen. Een tentatieve schatting geeft aan dat volledige en instantane stopzetting van de chloor-industrie en van het gebruik van produkten van deze industrie de totale emissie van dioxinen, voor zover het gaat om bekende bronnen, op dit moment slechts met maximaal 10 à 20% zou doen afnemen. In ieder geval een percentage dat, gelet op de emissiereductie die veelal wordt nastreefd, niet hoog is. Bij deze schatting is geen rekening gehouden met secundaire effecten die een drastische stap als het stopzetten van de chloor-industrie tot gevolg zou kunnen hebben.

Tussen emissie en vorming van dioxinen bestaat, zeker als emissies worden teruggedrongen met 'end-of-pipe'-maatregelen, een groot verschil. Dit verschil wordt op gecontroleerde wijze gestort, hetgeen veelal niet wordt gezien als een emissie. Vanuit het oogpunt van duurzaamheid kan echter het storten van residuen met zeer schadelijke persistente verbindingen als dioxinen onwenselijk worden geacht. Over de invloed van verwijdering van PVC, al of niet in combinatie met rookgasreiniging, dioxinevorming onderdrukkende proces-geïntegreerde maatregelen en afscheiding van GFT-afval, papier, hout en textiel, op het dioxinegehalte van het residu is op basis van de huidige kennis weinig met zekerheid te zeggen.

Naast reguliere industriële emissies, moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid van ongelukken. Bij accidentele proces-ontsporingen kan, als er chloor in het spel is, onder bepaalde omstandigheden een aanzienlijke hoeveelheid dioxine worden gevormd. Ondanks de vele maatregelen die zijn genomen om het risico te beperken, zijn dergelijke ongelukken niet volledig uit te sluiten.

^{83]} Zo geeft bij verbranding van integraal huisafval verwijdering van PVC geen noemenswaardige vermindering van de uitstoot van dioxinen. Dit geldt, omgekeerd, ook als alleen keukenzout (voedsel) uit het afval wordt verwijderd. De vraag is nu aan welke chloorbron de dioxinen moeten worden toegeschreven: aan PVC of aan keukenzout? Als, zoals gebruikelijk is bij levenscyclusanalyses, de toedeling gebeurt naar massaverhouding, dan zou de emissie aan dioxinen van de verbrandingsinstallaties voor huisvuil voor ruim de helft moeten worden toegeschreven aan PVC, en dus indirect aan de produktie van de chloor-industrie.

4.5.4 Maatregelen

Op verschillende gebieden zijn maatregelen genomen om het ontstaan en vooral de emissie van dioxinen tegen te gaan. Door die maatregelen is de totale uitstoot van deze gevaarlijke stoffen in Nederland, voor zover bekend, sterk dalende. In 1989 werd in het totaal 960 gram I-TEQ via de lucht uitgestoten. In 1991 was dat 484 gram en, als alle voorgenomen maatregelen geëffectueerd worden, dan zal dit in het jaar 2000 gedaald zijn tot minder dan 100 gram. In de andere milieucompartimenten zal naar verwachting de daling minder groot zijn.

De aandacht richt zich nu vooral op sanering van verbrandingsprocessen. Emissie van dioxinen naar de lucht wordt bij verbranding van huishoudelijk en industrieel afval teruggedrongen tot 0,1 ng I-TEQ/Nm³. Sommige installaties voor de verbranding van huisvuil produceerden enkele jaren geleden, bijvoorbeeld in 1989 in Nederland, het 1000-voudige daarvan (Zaanstad, Leeuwarden). Om te komen tot een dergelijke reductie, zonder dat daarbij de problemen van de lucht naar het verbrandingsresidu worden verschoven, is nog een aantal ontwikkelingen nodig. Eerder in deze studie zijn over verbrandingsprocessen al enige opmerkingen gemaakt. In het licht van de dioxineproblematiek, zijn meer specifiek de volgende punten van belang:

- verhoging van de verbrandigstemperatuur tot boven 1000 °C voor zo volledig mogelijke verbranding; goede beheersing van verblijftijd en turbulente;
- volledige verbranding is moeilijk te realiseren in verbrandingsinstallaties die te maken hebben met heterogeen vast-nat-brandstof; plaatselijk gebrek aan zuurstof in de verbrandingsoven bevordert pyrolytische omzetting waarbij o.a. aromatische verbindingen kunnen ontstaan, waaronder PCDD/Fs en precursoren daarvan; scheiding van afvalfracties waardoor onder meer droger afval ontstaat, kan deze problemen verminderen;
- verhoging van de temperatuur waarbij vliegas wordt afgevangen - van 300 °C naar bijvoorbeeld 600 °C - waardoor minder dioxinen en furanen door vliegas worden gekatalyseerd ⁸⁴; 'rapid quenching' door de kritieke zone van 450-250 °C (is energetisch wel onvoordelig);
- katalyse aan vliegas is vermoedelijk de belangrijkste oorzaak van het ontstaan van dioxinen en furanen bij afvalverbranding;
- katalytische destructie van dioxinen en furanen in rookgas (bijvoorbeeld door middel van inzet van titanium/vanadium/tungstenoxyde-katalysatoren) terugdringing van het gebruik van installatie-onderdelen die, op de foute manier, katalyserend werken (zoals koperen roosters);
- verwijdering van chloorbronnen uit te verbranden materiaal; terugdringing van precursors van dioxinen en furanen (aromatische verbindingen);
- vergroting van toepasbaarheid van residuen (slak, E-fil- teras) als secundaire grondstof (bijv. door dechlorering, verglazing).

⁸⁴] J.G.P. Born, 'On the formation of dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in combustion processes', proefschrift Leiden, 1992.

Naast verbrandingsprocessen kan op termijn ook gedacht worden aan andere destructiemethoden, bijvoorbeeld hydrogenatie en pyrolytische dechlorering.

De dioxineproblematiek kan nog niet als overwonnen worden beschouwd. Een preventieve aanpak, waarbij dioxinen niet alleen worden afgevangen maar ook worden voorkomen, vraagt op diverse gebieden nog gerichte ontwikkeling van de technologie. De onzekerheden in de emissies van dioxinen zijn nog steeds groot. De getallen die eerder werden gegeven, zijn slechts schattingen. Over de humane schadelijkheid van dioxinen is ongetwijfeld nog niet het laatste woord gesproken. Zuigelingen zullen bij borstvoeding nog lange tijd worden blootgesteld aan doses die de WHO-norm vele malen overschrijden. Ecotoxicologische gegevens zijn beperkt en vertonen een grote onzekerheid. Ook bij de nieuwe verbrandingsnorm van 0,1 ng I-TEQ/Nm³ zal sprake zijn van voortgaande accumulatie in de bodem, met ongeveer 0,1 ng I-TEQ/kg droge stof per jaar. Vooral (top)predatoren lijken gevaar te lopen ⁸⁵. Tevens is het zo dat calamiteiten waarbij significante hoeveelheden dioxinen worden gevormd, niet kunnen worden uitgesloten. Waakzaamheid blijft geboden.

⁸⁵] Voor de bodem wordt voor predatoren een maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR) gehanteerd van 3 ng I-TEQ/kg droge stof. Deze MTR_{predator} is ongeveer gelijk aan de huidige gemiddelde concentratie in de bodem. Op verschillende plaatsen binnen fourageergebieden wordt de MTR-waarde overschreden, soms met meer dan een factor 30.000.

5 OP ZOEK NAAR DUURZAAMHEID

5.1 Verschillende wegen

Bij de gang naar duurzaamheid moet in onzekerheid worden gehandeld. Door deze onzekerheid kan niet op objectieve wijze een unieke en eenduidige weg naar duurzaamheid worden aangegeven. Er lijken vooral verschillende wegen open te liggen. Dit geldt in het algemeen, en ook voor chloor. De verschillende wegen hebben uiteenlopende gevolgen voor de inzet van chloor. Zo kan, op basis van de thans beschikbare informatie, de inschatting worden gemaakt dat problemen van bepaalde chloorprodukten door middel van zorgvuldig ketenbeheer kunnen worden beheerst, dat wil zeggen tot een acceptabel niveau kunnen worden verminderd. Een duurzame samenleving zou in dat geval zeer wel kunnen samengaan met een verhoging van de totale inzet van chloor. Andere inschattingen zijn echter, gegeven de onzekerheid, ook mogelijk. Zo kan men van oordeel zijn dat de noodzakelijk geachte beheersing in de praktijk bij meerdere toepassingen van chloor vrij moeilijk en duur zal zijn en dat het veel eenvoudiger en, voor de samenleving als geheel, ook goedkoper is over een breed front over te gaan op alternatieven. Dit zou dan een aanzienlijke daling van het totale chloorgebruik tot gevolg kunnen hebben.

In dit hoofdstuk zal worden getracht enkele wegen naar duurzaamheid nader in te vullen. Het gaat daarbij om analytische constructies. De te beschrijven wegen hebben niet de pretentie of de bedoeling een weergave te zijn van standpunten zoals die door verschillende partijen in de discussie rond chloor worden ingenomen. Het gaat slechts om vingeroefeningen met als enige bedoeling de grote onzekerheid die nog bestaat nader te illustreren. Gepoogd wordt wegen op te bouwen uit keuzen en afwegingen die, alhoewel arbitrair, een zekere plausibiliteit hebben en onderling een logische samenhang vertonen.

In overeenstemming met de aanpak in de andere deelstudies van het overkoepelende WRR-project wordt bij de beschrijving gebruik gemaakt van een matrix. De te kiezen weg naar duurzaamheid wordt daarbij benaderd vanuit twee kanten: een consumptiekeuze en een technologiekeuze.

	Lage consumptie	Hoge consumptie
Zorgvuldig beheer	'Sober met chloor'	'Meer met chloor'
Overgang op alternatieven	'Vermijding van chloor'	'Alternatieven voor chloor'

De *consumptiekeuze* richt zich op de finale functies waarvoor nu chloorhoudende of chloorvragende produkten worden ingezet. De *technologiekeuze* geeft aan op welke wijze de produktie plaatsvindt. Terwille van de eenvoud worden zowel bij de *consumptiekeuze* als bij de *technologiekeuze* slechts twee modaliteiten weergegeven. Bij de *consumptie* is dat een 'hoge' *consumptie* versus een 'lage' *consumptie* en bij de *technologie* een zorgvuldig beheer van chloorhoudende processen en produkten versus de overgang op alternatieven, dat wil zeggen op produkten en processen die geen chloor bevatten en geen chloor als hulpstof vereisen.

In de volgende paragrafen wordt de matrix nader ingevuld. Per positie wordt eerst een algemene omschrijving gegeven. Het gaat daarbij om een globale standpuntsbepaling waarbij zowel technologische als economische en maatschappelijke overwegingen een rol spelen. Vervolgens wordt de positie nader geïllustreerd aan de hand van de volgende zaken: produktie en transport, polyvinylchloride (PVC), bestrijdingsmiddelen, CFK-vervanging en dioxine-emissie. Hoofdstuk 4 dient daarbij als referentiekader.

5.2 'Meer met chloor' (MC)

	Lage consumptie	Hoge consumptie
Zorgvuldig beheer	'Sober met chloor'	'Meer met chloor'
Overgang op alternatieven	'Vermijding van chloor'	'Alternatieven voor chloor'

5.2.1 *Algemene omschrijving*

De positie rechtsboven in de matrix wordt gedragen door de volgende algemene veronderstellingen:

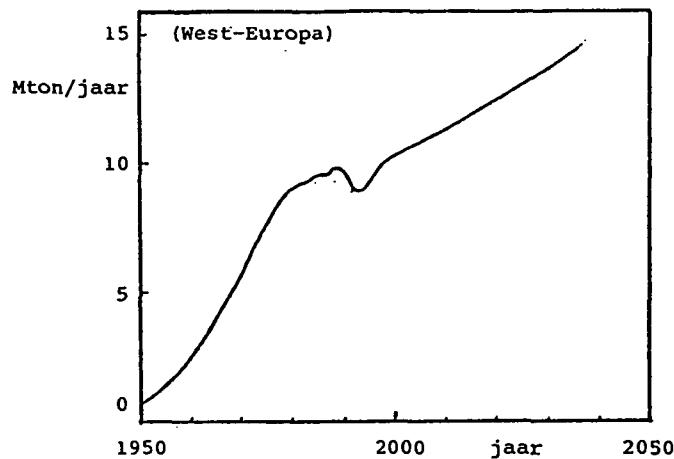
- het milieu heeft een groot herstellend vermogen;
- de 'markt' heeft een groot optimaliserend vermogen;
- de technologie heeft een groot probleemoplossend vermogen;
- de mens heeft een groot aanpassend vermogen.

Door het grote vermogen tot herstel behoeft niet al te angstvallig met de natuur te worden omgesprongen. Het is onnodig 'nul-emissie' na te streven. Bij de normstelling moet rekening worden gehouden met de natuurlijke achtergrond van chloorverbindingen, terwijl het risico van het gebruik van chloor steeds moet worden vergeleken met de andere risico's die de mens en het milieu lopen. Hierbij is het belang te beseffen dat ook de vrije natuur niet ongevaarlijk is. Duurzaamheid is tot op zekere hoogte het temmen van de vrije natuur. Een 'trial and error' aanpak, met snelle corrigerende actie daar waar nodig, kan de meeste problemen van menselijk handelen binnen de perken houden. Slechts bij uitzondering zal het nodig zijn het voorzorgprincipe te hanteren. Het marktmechanisme speelt een grote rol in de optimale allocatie van schaarse goederen, waaronder de natuur. Hierbij is het wel nodig maatschappelijke randvoorwaarden duidelijk en consistent aan te geven, informatietekorten op te heffen, echte schaarsteverhoudingen (uitsluitend) wereldwijd in relatieve prijzen te verdisconteren en bij deze verdiscontering een realistisch tijdpad aan te houden. Het begrip duurzaamheid is niet statisch, het verandert met de omstandigheden. Het aanpassingsvermogen van de mens is zodanig dat de uitkomst van bovenstaand handelen duurzaam kan worden genoemd.

De *chloorchemie* is een belangrijke pijler van de moderne samenleving. Zij is leverancier van hoogwaardige produkten en hoogwaardige arbeidsplaatsen. De inzet van chloor heeft economisch een groot uitstralingseffect: in West-Europa is de omzet van de chloorverbruikende industrie ongeveer 15x zo groot als die van de chloorproducerende industrie zelf. Chloorprodukten - variërende van geneesmiddelen tot hoogwaardige plastics - hebben de kwaliteit van

het leven sterk helpen verbeteren. Ook heeft de inzet van chloor meer dan eens ecologische voordelen. Door de hoge chemische reactiviteit kan vaak selectief en energetisch voordeelig worden geproduceerd. Duurzaamheid kan zeer wel samengaan met een hogere inzet van chloor.

Figuur 5.1 'Meer met chloor': de industriële produktie van chloor



Bron: WRR

Om duurzaamheid te bereiken is het nodig bij verschillende chloorverbindingen, evenals bij vele andere verbindingen, zorgvuldigheid te betrachten. Zowel de produktie met chloor als het gebruik van chloorprodukten moeten worden beheerst. De techniek en de economie bieden hiervoor, zo is reeds op verschillende gebieden gebleken, goede mogelijkheden. De chloorchemie is bij het nemen van milieugerichte maatregelen andere delen van de samenleving soms ver voor. Om nog verdere maatregelen te kunnen nemen, is economische groei noodzakelijk of in ieder geval behulpzaam. Groei schept kapitaal dat voor genoemde maatregelen kan worden ingezet. Voortgaande groei gaat zeer wel samen met een verminderde milieu-aantasting. Sleutelfactoren zijn een juiste technologiekeuze, kringloopsluiting tot een realistisch niveau en integraal ketenbeheer. Overgang op alternatieve chloorloze produkten zal slechts in enkele gevallen nodig zijn.

Andere posities in de matrix wordt verweten chloorprodukten te discrimineren, onvoldoende oog te hebben voor de maatschappelijke en ecologische voordelen van het gebruik van chloor, de economische schade van snelle afschaffing te bagatelliseren, de economische, technische en ecologische nadelen van alternatieven te onderschatten en de duurzaamheidsrisico's van verminderde economische groei te vergeten.

5.2.2 Nadere illustratie (MC)

Produktie en transport

MC

De laatste twee decennia zijn bij de produktie van chloor en van chloorverbindingen aanzienlijke verbeteringen doorgevoerd. De uitstoot van schadelijke stoffen is drastisch gedaald. Bijvoorbeeld bij de lozing van chloorkoolwaterstoffen in water in veel bedrijven met meer dan een factor 100. Door diverse maatregelen is ook het risico van calamiteiten sterk afgenoem. Zo is bij de produktie van PVC in de periode 1970-1979 gerekend over de hele wereld slechts 1 bedrijfsongeluk opgetreden met 4 doden en in 1980-1989 1 ongeluk met 17 doden. Door verdere introductie en vervolmaking van milieuzorgsystemen kunnen de problemen bij de produktie over de hele wereld tot een vanuit duurzaamheid acceptabel niveau worden teruggebracht.

Hetzelfde geldt voor transport van elementair chloor. Natuurlijk is chloor een zeer reactieve stof, maar door de inzet van verschillende actoren - chlooreveiligheidsgroepen van brancheorganisaties, chloorhulpdiensten, spoorwegorganisaties en overheden - is het transportrisico tot een zeer laag niveau teruggebracht. In West-Europa heeft zich sinds de tweede wereldoorlog geen enkel ongeval met grootschalige vormen van chloortransport voorgedaan. Slechts 20% van de totale chloorproduktie wordt bovengronds tussen bedrijven getransporteerd, voornamelijk met behulp van speciale bloktreinen. Deze fractie is dalende.

PVC

MC

Polyvinylchloride is bij zorgvuldig gebruik zeer milieuvriendelijk. Het is in feite een bijzonder duurzame kunststof. PVC is, na toevoeging van additieven, bestand tegen vele vormen van aantasting en geschikt voor een breed spectrum van toepassingen. Het is een zeer handig materiaal met een goede prijs/prestatieverhouding. De produktieprocessen zijn geavanceerd en voldoen aan scherpe emissienormen. Door produktie in grote installaties kan energetisch ver worden geoptimaliseerd. Beheersing betekent bij PVC: de inzet van moderne produktietechnieken, een zorgvuldige inzameling van PVC-afval, polymeer-recycling bij de hoogwaardige afvalfracties en mono-meer-recycling of geavanceerde verbranding, in een aantal gevallen met terugwinning van energie en zoutzuur, bij de laagwaardige fracties. Voor een goede beheersing kan het nodig zijn voor enkele toepassingen betere additieven te ontwikkelen. Toevoegingen als zware metalen moeten wereldwijd gaandeweg worden geweerd. Bij introductie van nieuwe PVC-formuleringen moet rekening worden gehouden met hergebruik. Bij recycling van PVC gaat het niet alleen om technische oplossingen. Ook op het logistieke vlak moeten verdere maatregelen worden getroffen. Voor de recycleprodukten dient een voldoend grote en betrouwbare markt te worden geschapen.

Bestrijdingsmiddelen

MC

Chloorhoudende bestrijdingsmiddelen zijn de afgelopen decennia over het geheel genomen sterk verbeterd. De chloorchemie heeft hier haar verantwoordelijkheid genomen. Dit neemt niet weg dat bestrijding van ziekten en plagen, met welk middel dan ook, problemen kan geven. Bestrijdingsmiddelen zijn voorlopig een noodzakelijk kwaad in een wereld waar vele mensen moeten worden gevoed en een gezond leven moet worden geboden. De schade die soms door het gebruik van bestrijdingsmiddelen wordt aangericht, dient te worden vergeleken, ten eerste, met de schade die ontstaat door het gebruik van andere bestrijdmetheden en, ten tweede, met de schade die ontstaat als de middelen *niet* worden gebruikt (bijvoorbeeld hongersnood en gezondheidsproblemen). Het inherent open gebruik van bestrijdingsmiddelen dwingt wel tot zorgvuldigheid. Zeer stabiele, breed werkende en zeer giftige bestrijdingsmiddelen moeten overal op de wereld worden vervangen. Bij de dan nog gebruikte middelen is het zinvol verder te gaan met eliminatie van overdoses en verwijdering van onnodige stereoisomeren en dergelijke. Gebruik van moderne chloorhoudende bestrijdingsmiddelen staat duurzaamheid niet in de weg. Bij zorgvuldig en beheerst gebruik kunnen deze middelen zelfs een belangrijke positieve bijdrage aan duurzaamheid geven.

CFK-vervanging

MC

Ook chloorfluorkoolstofverbindingen (CFK's) hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan welvaart en welzijn. Zo hebben chloorhoudende koelmiddelen de gezondheidstoestand van de mens sterk helpen verbeteren. Het bederf van voedingsmiddelen is gedaald, een duurzamer gebruik van landbouwproductie was het gevolg. Alhoewel het oorzakelijke verband nog steeds niet is aangetoond, lijkt de aantasting van de ozonlaag te dwingen tot vervanging van CFK's. De nodige besluiten daarvoor zijn snel genomen, hetgeen een uiting is van de flexibiliteit waarmee de markt en de chloorchemie op dergelijke ontwikkelingen kunnen reageren. De HCFK's en de HFK's zijn voor de meeste toepassingen goede vervangers. Zij maken een snelle afbouw van de CFK's mogelijk en vergemakkelijken een ordelijke transitie naar andere vervangingstechnieken. Bij belemmering van het gebruik van H(C)FK's loopt de afbouw van CFK's vertraging op, met alle negatieve milieugevolgen van dien. De meeste H(C)FK's zijn uitgebreid toxicologisch getest en vertonen niet de risico's van sommige andere vervangers. Bovendien scoren zij in energetisch opzicht vaak gunstig. Meerdere H(C)FK's hebben een 'drop-in' karakter, terwijl een aantal andere vervangende middelen geheel andere kapitaalgoederen en produkten vragen hetgeen weer kan leiden tot een onduurzame verkwisting van kapitaal en materiaal.

Dioxine-emissie

MC

Er komen steeds meer indicaties dat de problemen van gechloreerde dioxinen, en de aanverwante furanen, in het verleden zijn overdreven. Het zijn onmiskenbaar schadelijke stoffen, maar wel voor de mens minder schadelijk dan in eerste instantie werd gevreesd. Bij Inwoners van Seveso die sinds 1976 zijn blootgesteld aan hoge doses 2,3,7,8-TCDD (tot 27 ppb in serum) is chlooracné het enige ondubbelzinnig aangetoonde gezondheidseffect. Studies waarin nadelige effecten van blootstelling aan dioxinen werden gevonden, blijken bij nadere inspectie een geringe statistische betrouwbaarheid te hebben. Al deze indicaties geven enige ruimte in de blootstelling aan dioxinen. Een nulnorm behoeft zeker niet te worden nagestreefd. Door verbetering van procescondities bij vuilverbranding, in de papierindustrie, in de metallurgische industrie, bij produktie van gechloreerde aromatische verbindingen en bij transportmiddelen kan de dioxine-uitstoot tot een voldoend laag niveau worden verminderd. Een emissie van 0,1 ng I-TEQ/m³ bij verbranding is, ook in duurzaam opzicht, volstrekt acceptabel. Deze zeer lage emissie is overigens een illustratie van wat zorgvuldig beheer van chloorhoudende processen in snel tempo vermag.

5.3 'Alternatieven voor chloor' (AC)

	Lage consumptie	Hoge consumptie
Zorgvuldig beheer	'Sober met chloor'	'Meer met chloor'
Overgang op alternatieven	'Vermijding van chloor'	'Alternatieven voor chloor'

5.3.1 *Algemene omschrijving*

Naast een positie die beheersing centraal stelt, is er ook een positie die het nodig en voordelig acht chloorprodukten over een breed front te vervangen door chloorloze alternatieven. Deze inzet is consistent met de volgende algemene veronderstellingen:

- open gebruik van vele chloorverbindingen - met name onder organochloren - brengt significante milieurisico's met zich mee;
- zorgvuldig gebruik van deze verbindingen vereist kringloopsluiting gebaseerd op relatief strenge normen;
- een kringloopsluiting die aan deze normen voldoet, vraagt van de samenleving een inspanning die in haar totaliteit groter is dan de inspanning die moet worden geleverd voor grootscheepse overgang op en zorgvuldig gebruik van goed gekozen chloorloze alternatieven;
- er is vertrouwen in het probleemplossende vermogen van de technologie, mits de juiste technologiekeuze - in veel gevallen die van de chloorloze alternatieven - wordt gemaakt;
- overgang op chloorloze alternatieven zal, zeker als daarbij een realistisch tempo wordt gehanteerd, de welvaartsgroei over het geheel genomen niet belemmeren; zij kan zelfs groeistimulerend werken.

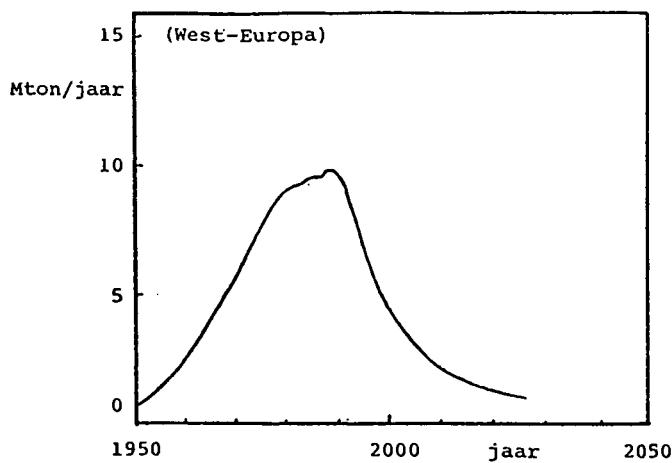
Zorgvuldigheid als nuttige strategie om milieuproblemen op te lossen, wordt in de onderhavige optiek op zich onderschreven. Ten aanzien van de gepercipieerde problemen met chloorverbindingen wordt een dergelijke strategie echter als suboptimaal beoordeeld.

Chloor heeft eigenschappen die het noodzakelijk maken bij gebruik strakke normen te hanteren. Normen die op de meeste deelgebieden strenger zullen zijn dan de normen die in de optiek van de vorige positie (MC) aanvaardbaar worden geacht. Bij de noodzakelijke normstelling zullen zich in de praktijk problemen voordoen op het vlak van haalbaarheid, betaalbaarheid en handhaafbaarheid. Toenemende concurrentie op een internationale markt - met vervagende grenzen tussen landen met een verschillend milieuregime - zal het de industrie moeilijk maken de noodzakelijk geachte maatregelen te nemen. Bij een onvoldoend goed werkend handha-

vingsregime is het gevaar groot dat problemen worden afgewenteld op minder zichtbare compartimenten van het milieu en van de samenleving, waaronder de onderontwikkelde wereld. Tussen zeggedrag en doegedrag zal gemiddeld genomen altijd een groot verschil blijven bestaan. Bij het uitzetten van een weg naar duurzaamheid kan niet teveel van ideale situaties worden uitgegaan.

De maatschappelijke inspanning die moet worden geleverd voor het bereiken en handhaven van acceptabele zorgvuldigheid moet worden vergeleken met de inspanning die voor chloorloze alternatieven noodzakelijk is. In deze positie wordt, binnen de grenzen van bestaande onzekerheden te dien aanzien, de inschatting gemaakt dat alternatieven in dat opzicht in veel gevallen voordelen bieden. Meer dan eens gaat het om bestaande produkten die goed bekend zijn en waarmee zich in het verleden geen grote problemen hebben voorgedaan. Waar nog geen goede alternatieven bestaan, zijn er indicaties dat deze door gerichte inspanning in R&D snel kunnen worden ontwikkeld. In dit kader kan bijvoorbeeld worden gewezen op de vervanging van CFK's en op de ervaringen in belangrijke delen van de industrie, waar het gelukt is organochlooroplosmiddelen in korte tijd en soms zelfs met veel economische voordeel te vervangen door alternatieven variërende van warm zeepwater tot oplosmiddelvrije produktie. Overgang op alternatieven maakt het in veel gevallen mogelijk de problemen ten aanzien van haalbaarheid, betaalbaarheid en handhaafbaarheid - problemen die in deze optiek bij vele chloortoepassingen groter zijn dan bij goed gekozen alternatieven - te ontlopen en een betere besteding van milieugelden te bewerkstelligen.

Figuur 5.2 'Alternatieven voor chloor': de industriële produktie van chloor



Bron:

WRR

Er bestaat in deze positie oog voor de bijdrage in termen van welvaart en welzijn die chloorprodukten in het verleden hebben geleverd. Nu is echter een nieuwe industriële fase aangebroken waarin de samenleving hogere eisen stelt en uit het oogpunt van duurzaamheid ook moet stellen. Voortdurende herstructurering hoort bij een gezonde en actieve economie. Het ontwikkelen en toepassen van chloorloze produkten passen daarin. Zorgvuldig beheer van

chloor over de hele keten zal, zoals gesteld, voor de samenleving als geheel gepaard gaan met hoge kosten. Op termijn is het daarom niet alleen ecologisch, maar ook economisch voordelig in ruime mate over te gaan op chloorloze produkten en processen. Een industrie die deze snel ontwikkelt en op goede wijze op de markt brengt, kan daar ook voor zichzelf een aanzienlijk voordeel uit behalen. Een offensieve aanpak is geboden.

Andere posities in de matrix wordt verweten de mogelijkheden voor zorgvuldig beheer van chloorprodukten te overschatten, de maatschappelijke kosten van een dergelijk beheer te onderschatten en de economische en ecologische bijdrage van alternatieven te miskennen of te ver in de toekomst te zien.

5.3.2 Nadere illustratie (AC)

<u>Produktie en transport</u>	AC
-------------------------------	----

Erkend wordt dat bij de produktie van chloor en chloorprodukten - onder druk van milieugroeperingen, consumenten en overheden - aanzienlijke verbeteringen zijn doorgevoerd. Deze worden echter in meerdere gevallen nog onvoldoende geacht. De emissies zijn, vanuit het oogpunt van duurzaamheid, vaak nog te hoog. Bij vermindering van uitstoot is meer dan eens slechts sprake van verschuiving tussen milieucompartimenten, bijvoorbeeld van water naar bodem (stort). In de vorige positie (MC) wordt teveel uitgegaan van ideale situaties. De emissies variëren sterk tussen bedrijven en tussen landen. Ook in moderne economieën is nog steeds sprake van frequente overschrijding van normen, onvolledigheid van vergunningen, te weinig sancties bij overtreding en te subjectieve meet- en controlesmethodieken. In veel gevallen zijn de vergunningen voor uitstoot van schadelijke stoffen te soepel en meer ingegeven door economische dan door ecologische belangen. Bij produktie met en transport van chloor doet zich nog steeds het risico van ernstige calamiteiten voor. De risico's moeten niet uitsluitend worden afgemeten aan het aantal doden dat in de loop der tijd is gevallen. Een transportfractie van 20% van de totale hoeveelheid geproduceerd chloor betekent nog steeds dat in West-Europa 2 Megaton (2.000.000.000 kg) zeer reactief chloor per jaar over weg en rail wordt vervoerd. Verdere maatregelen zijn noodzakelijk.

<u>PVC</u>	AC
------------	----

PVC is een handig produkt met een goede prijs/prestatieverhouding. Er zijn echter voor de meeste toepassingen redelijk goede vervangers, hetgeen de vraag doet opkomen waarom nog risico moet worden genomen. Bij de produktie van de basisstoffen EDC en VCM en van verschillende additieven doen zich nog steeds problemen voor. De emissie van koolwaterstoffen is nog behoorlijk groot en bovendien in een aantal gevallen nog niet goed bekend. Ook het produktie- afval dat moet worden gestort, bevat zeer

schadelijke stoffen. De produktie en het gebruik van PVC-formuleringen leiden tot verspreiding van additieven in het milieu. De ecologische onschadelijkheid daarvan is vaak nog niet overtuigend aangetoond. Hoogwaardig hergebruik van PVC is slechts gedeeltelijk goed mogelijk. Bij thermische recycling, dat wil zeggen verbranding met terugwinning van energie, heeft PVC een energetisch nadeel ten opzichte van de meeste andere bulkplastics. PVC is verder een grote zuurleverancier, hetgeen problemen geeft bij verbranding van huisvuil. De grote hoeveelheid verontreinigd vliegas en slib is een milieuprobleem.

Bestrijdingsmiddelen

AC

Een duurzame beheersing van chloorhoudende bestrijdingsmiddelen is in de praktijk niet goed mogelijk. De toepassing is te open, te gespreid en te oncontroleerbaar. Modelsituaties zijn ook hier niet maatgevend voor de praktijk. De concentraties van bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater overschrijden de vastgestelde normen zeer frequent vele malen. Zeer schadelijke chloorhoudende middelen zijn in sommige gebieden verboden, maar worden nog wel toegepast, terwijl verder ook de nu nog toegestane bestrijdingsmiddelen veelal een te geringe selectiviteit, een te slechte afbreekbaarheid, een te grote mobiliteit tussen milieucompartmenten en/of een te groot resistentie-oproepend vermogen vertonen. Het overmatige en soms onoordeelkundige gebruik van bestrijdingsmiddelen in onderontwikkelde landen veroorzaakt grote schade. Een overwegend chemisch georiënteerde bestrijding stuift niet alleen op ecologische problemen, maar langzamerhand ook op economische problemen. Andere vormen van bestrijding zijn noodzakelijk. Het open gebruik van chloorhoudende en ook van andere chemische bestrijdingsmiddelen moet sterk worden beperkt.

CFK-vervanging

AC

Het causale verband tussen de aanwezigheid van chloor in de atmosfeer en de afbraak van de stratosferische ozonlaag wordt bewezen geacht. Het Antarctische ozongat wordt snel dieper, terwijl ook boven andere gebieden een uitdunning van de ozonlaag zichtbaar wordt. De kwetsbaarheid van de ozonlaag voor aerosolen of andere verontreinigingen is door de aanwezigheid van chloor sterk toegenomen. De snelle reductie van de produktie van CFK's die internationaal is overeengekomen, is volstrekt geboden, zij het dat zij veel eerder tot stand had kunnen en moeten komen. Door de trage reactie zal de komende eeuw met een aanzienlijke aantasting van de ozonlaag moeten worden geleefd. Ook de uitstoot van andere stoffen met een ozonwegvangend vermogen moet zo snel mogelijk worden verminderd. Voor de hand liggende vervangers als H(C)FK's dienen slechts terughoudend te worden ingezet en voornamelijk te worden beperkt tot maatschappelijk zeer belangrijke toepassingen waarvoor nog geen alternatieven be-

staan. Inzet van H(C)FK's heeft als nadeel dat twee keer transitiekosten moeten worden gemaakt: bij de introductie en bij de voorziene vervanging in het begin van de volgende eeuw. In veel gevallen kan het gebruik van H(C)FK's worden vermeden. De ervaring van de laatste jaren leert dat chloorloze alternatieven op veel gebieden meer mogelijkheden bieden dan eerder werd gedacht.

Dioxine-emissie

AC

Indicaties dat dioxinen bij lage doses minder schadelijk zijn dan eerder gedacht, moeten terughoudendheid worden gebruikt. Er zijn ook indicaties dat dioxinen schadelijker zijn dan werd gedacht. Op basis van het huidige feltenmateriaal kunnen nog weinig praktische conclusies worden getrokken, zeker waar het de ruimte voor blootstelling betreft. De huidige blootstelling ligt voor de mens dicht bij de grens die op basis van de nieuwe inzichten nog net veilig kan worden geacht. Gelet op de met grote zekerheid aange- toonde ernstige aandoeningen bij hogere doses, kan geen risico worden gelopen. Zorgvuldig procesbeheer onder normale condities kan grote uitstoot van dioxinen bij calamiteiten niet altijd voorkomen. Chloorhoudende productieprocessen die bij ontsporing een significant risico voor de vorming van dioxinen vertonen, moeten zoveel mogelijk worden gemeden.

5.4 'Sober met chloor' (SC)

	Lage consumptie	Hoge consumptie
Zorgvuldig beheer	'Sober met chloor'	'Meer met chloor'
Overgang op alternatieven	'Vermijding van chloor'	'Alternatieven voor chloor'

5.4.1 *Algemene omschrijving*

De positie linksboven wordt geacht de volgende belangrijke kenmerken te hebben:

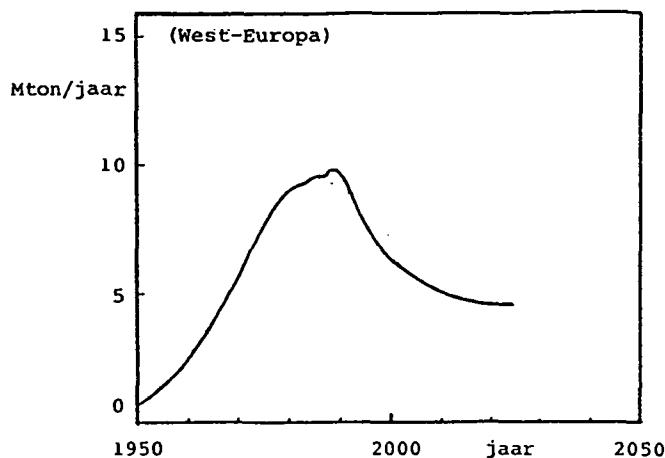
- verschillende toepassingen van chloor brengen risico's met zich mee voor het milieu, en daarmee ook voor duurzaamheid;
- zorgvuldiger procesvoering bij bestaande processen en zorgvuldig gebruik van chloorhoudende produkten is een waardevolle strategie, maar op zich in de praktijk onvoldoende of onvoordelig;
- er is weinig vertrouwen in de mogelijkheden en de voordelen van chloorloze alternatieven;
- om de bedreiging van duurzaamheid te reduceren, kan het helpen de consumptie van bepaalde chloorhoudende produkten (tijdelijk) te verminderen, zonder dat sprake is van vervanging.

Geen van beide mogelijkheden - zorgvuldiger beheer en overgang op chloorloze alternatieven - wordt in deze positie gezien als een optimale strategie om de risico's van sommige chloortoepassingen in voldoende mate en voldoende snel terug te brengen. Alternatieven hebben vaak weer andere nadelen en daarmee de neiging de problemen slechts te verschuiven. Het probleem van alternatieven is dat zij, als zij beter scoren langs een enkele dimensie, kunnen leiden tot een onjuist gevoel van veiligheid : bijvoorbeeld 'spult maar raak, het kan toch geen kwaad'. Hierbij komt nog dat vele van de nadelen van alternatieven pas later zichtbaar zullen worden. Incidentele successen van chloorloze alternatieven moeten niet te snel worden veralgemeind.

Zorgvuldigheid en terughoudendheid zijn noodzakelijk. Gezien het feit dat veel alternatieven nog een risicovolle sprong in het duister zijn, is het zinvol veel aandacht te richten op een snelle (verdere) invoering van zorgvuldiger beheer van bestaande produkten en processen. Chloor geeft soms problemen, maar deze zijn grotendeels bekend en kunnen worden verminderd. Het gaat daarbij om zaken als verdere verbetering van produktieprocessen, verbetering van recyclingprodukten en vergroting van de afzetmarkten daarvoor, verbetering van verbrandigsme-

thoden ter voorkoming van dioxine- en furaanvorming en terugwinning van vluchtige koolwaterstoffen en dergelijke. Zorgvuldigheid tot een niveau dat hier noodzakelijk wordt geacht, zal echter een aanzienlijke maatschappelijke inspanning vereisen. In deze positie bestaat de verwachting dat de samenleving bij gerichte soberheid, waarbij bepaalde toepassingen van chloor worden vermeden, beter af is. Voor de samenleving als geheel zal gerichte soberheid zelfs een minder groot welvaartsverlies geven dan verregaande zorgvuldigheid. Het op dit moment doelbewust accepteren van een stap terug in welvaart, zal op termijn niet alleen ecologische voordeelen opleveren, maar ook economische baten. Momentane soberheid is geen doel op zich, maar wordt gezien als een noodzakelijke investering in de toekomst, zowel op ecologisch als op economisch gebied. Kwalitatieve en kwantitatieve wijzigingen in de finale consumptie zijn belangrijke onderdelen van de gang naar duurzaamheid.

Figuur 5.3 'Sober met chloor': de industriële chloorproductie



Bron: WRR

Andere posities in de matrix wordt verweten de duurzaamheidsrisico's van onverminderde en ongeprofileerde economische groei te onderschatten, de mogelijkheden van zorgvuldig beheer te overdrijven, het welvaartsverlies van zorgvuldig beheer te vergeten en de risico's van een snelle overgang op chloorloze alternatieven onvoldoende te verdisconteren.

5.4.2 Nadere illustratie

Produktie en transport

SC

Chloorhoudende processen moeten verder worden verbeterd. Het gaat daarbij om een juiste inzet van beheerstechnologie, maar ook om organisatorische zaken als volledigheid van vergunningen (er moeten geen belangrijke stoffen worden vergeten), om hoge sancties op norm-overschrijding,

om strenge normen en om perfectionering van controlesystemen. Door procesintegratie moet het transport van chloor of schadelijke derivaten tot een minimum worden teruggebracht. Het is niet te voorkomen dat bij deze maatregelen internationaal voorop moet worden gelopen. De economische risico's van strenger optreden, in termen van extra kosten voor hogere zorgvuldigheid of, daar waar dat zinvolle is, van gedwongen stopzetting van activiteiten, worden geaccepteerd.

PVC

SC

Over de vervanging van PVC wordt in de vorige positie (AC) veel te gemakkelijk gedacht. Vele alternatieven hebben ten opzichte van PVC voor de gegeven toepassingen inferieure technische kwaliteit. Ook hebben PVC-alternatieven meer dan eens de neiging de problemen slechts naar een ander milieucompartment te verschuiven. Een optimaal gebruik van de mogelijkheden voor zorgvuldig beheer is veiliger, geeft sneller resultaten en doet meer recht aan het duurzame karakter van sommige toepassingen van PVC. Zorgvuldig beheer van PVC in termen van produktie, hergebruik en verbranding heeft echter ook zijn grenzen. Bovendien bestaat het risico dat bij toenemende zorgvuldigheidsgraad de milieuaantasting van PVC wel afneemt, maar die van de beheertechnieken toeneemt. De resulterende milieuaantasting zal daarom zelfs bij de meest optimale zorgvuldigheid nog te hoog zijn. Naast zorgvuldigheidsmaatregelen, is een soberder consumptie van PVC is geboden.

Bestrijdingsmiddelen

SC

Zorgvuldig beheer van bestaande bestrijdingssystemen, zoals eliminatie van ongewenste bijprodukten, verwijdering van schadelijke optische Isomeren, eliminatie van overdoses, betere formuleringen en afleversystemen en teeltmaatregelen, en (verantwoorde) introductie van alternatieve methoden, waaronder geïntegreerde vormen van bestrijding, zijn in het kader van duurzaamheid noodzakelijk. Bij de inzet van alternatieve methoden dient terughoudend te werk worden gegaan. Zo moet bijvoorbeeld de inzet van manipulatietechnieken als rDNA ter verhoging van resistentie van gewassen worden vermeden. Een chemische wedloop tegen ongewenste organismen moet niet worden vervangen door een biologische wedloop. Een sobere consumptie van bestrijdingsmiddelintensieve goederen - sober ten opzichte van het gemiddelde consumptieniveau in de Westerse wereld - is absoluut noodzakelijk. Gewassoorten of andere produkten die relatief veel bestrijdingsmiddelen vragen of die anderszins ecologisch slecht scoren, moeten worden vermeden. Bij export van bestrijdingsmiddelen dient het belang van de ontvanger te prevaleren boven het economische belang van producent en exporteur.

CFK-vervanging

SC

De snelle reductie van de emissie van vluchtige chloorfluorkoolstofverbindingen en andere ozonaantasters is een goede zaak, zij het dat ook in deze positie gevonden wordt dat dit eerder had kunnen gebeuren. Gezorgd moet worden dat de voorraad van CFK's die nog in de markt aanwezig is, wordt teruggewonnen en, daar waar de kans op weglek gering is, wordt hergebruikt of op milieuvriendelijke manier wordt verwerkt c.q. verbrand. Alternatieven moeten eerst goed op de mogelijkheid van ecologische schade worden onderzocht voordat zij ruim worden ingevoerd. Dit geldt voor de H(C)FK's, maar ook voor andere vervangers die al langer bestaan. Daar waar nog geen onschadelijke alternatieven voor handen zijn of waar gesloten gebruik van chloorrhoudende stoffen als (H)CFK's onmogelijk is, zal voorlopig soberheid in consumptie minder van de desbetreffende functies moeten worden betracht.

Dioxine-emissie

SC

Dioxinen zijn een onafwendbaar gevolg van het gebruik van chloor in de samenleving, zij het dat er ook natuurlijke bronnen zijn. Door antropogene activiteit is de belasting met gechloreerde dioxinen na de tweede wereldoorlog met meer dan een factor 10 gestegen. Door de inzet van beheers-technologie is de antropogene emissie, voor zover bekend, de laatste jaren sterk dalende. Met deze beheersstrategie moet verder worden gegaan. Er zijn echter zeer veel dioxinebronnen, die vermoedelijk voor een deel nog onbekend zijn. Totale zorgvuldigheid lijkt een nodeloos ingewikkelde en dure zaak. In een aantal gevallen is het zinvolle bepaalde activiteiten die relatief veel dioxinen, of precursors daarvan, kunnen opleveren, te mijden. Het welvaartsverlies dat daarmee tijdelijk gepaard kan gaan, dient te worden geaccepteerd.

5.5 'Vermijding van chloor' (VC)

	Lage consumptie	Hoge consumptie
Zorgvuldig beheer	'Sober met chloor'	'Meer met chloor'
Overgang op alternatieven	'Vermijding van chloor'	'Alternatieven voor chloor'

5.5.1 Algemene omschrijving

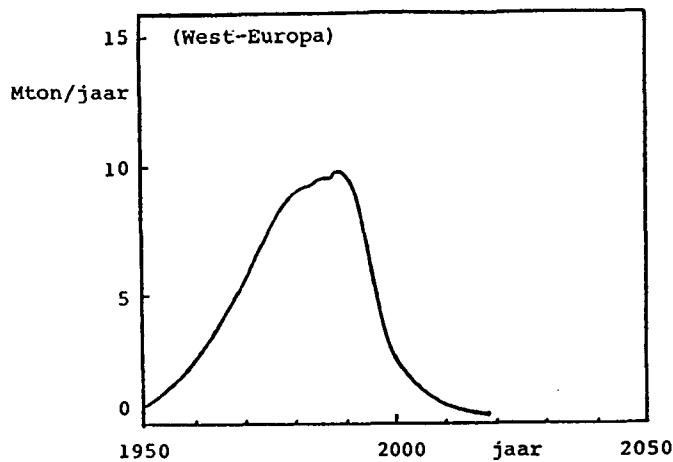
De positie links beneden in de matrix is consistent met de volgende uitgangspunten:

- open gebruik van vele chloorverbindingen beïnvloedt het milieu zodanig dat duurzaamheid ernstig wordt bedreigd;
- zorgvuldiger beheer kan geen volledige oplossing bieden;
- een grootscheepse overgang op chloorloze alternatieven is een noodzakelijke voorwaarde om te komen tot een duurzame ontwikkeling;
- naast inzet van alternatieven vraagt het totstandbrengen van duurzaamheid voorlopig tevens gerichte soberheid in consumptie.

In een duurzame samenleving kunnen synthetische chloorverbindingen slechts met grote terughoudendheid worden gebruikt. De risico's zijn in veel gevallen te groot en de beheersbaarheid van chloorhoudende produktketens te klein. Een relatief grote fractie van chloorverbindingen heeft de neiging te cumuleren en te vervallen in schadelijke volgprodukten. Het laatste geldt ook voor verbindingen die op zich vrijwel ongevaarlijk zijn. De mogelijkheden om achteraf te reageren zijn te klein, niet in de laatste plaats vanwege grote technische, economische en maatschappelijke traagheden. Bovendien zullen de maatschappelijke en economische kosten van dit reageren vaak buitensporig zijn. Te hoog om af te wentelen op toekomstige generaties. Gewezen kan worden op het dieper worden en het onvermijdelijke voortbestaan van het 'ozon-gat' tot ver in de volgende eeuw, de niet meer te keren langdurige doorlek van bestrijdingsmiddelen naar het grondwater en de nauwelijks meer op korte termijn te remedieren aanwezigheid van een aantal zeer stabiele organochloorverbindingen in gifbelten en andere, minder scherp gelokaliseerde, afzettingen. Diverse organochloorverbindingen worden aangetroffen in ijsberen aan de Noordpool en penguins aan de Zuidpool. Naast dat meerdere chloorverbindingen zelf direct schadelijk zijn, verhogen zij tevens de kwetsbaarheid van fysische en biologische systemen voor andere verstoringen. De toegenomen kwetsbaarheid van de stratosfeer voor vulkaanuitbarstingen, de kankerpromotoreffecten in dieren en de vruchtbaarheidsverlagende en weerstandsonderdrukkende gevolgen van oestrogeen-achtige chloorhoudende verbindingen voor de mens zijn daarvan voorbeelden.

Figuur 5.4

'Vermijding van chloor': de industriële chloorproduktie



Bron:

WRR

Het is hoog tijd en in termen van maatschappelijke en economische kosten ook voordeilig om open toepassingen van synthetische chloorverbindingen - en dan vooral de organische - in hoge mate te vermijden. Twee onderling aanvullende wegen komen hiervoor vooral in aanmerking: overgang op alternatieven en soberheid in consumptie. In tegenstelling tot de positie (AC) bestaat hier echter de inschatting dat alternatieven voorlopig geen volledige of voldoende oplossing bieden voor de problemen, of voor een volledige oplossing een te grote inspanning vereisen. Niet voor alle te vermijden toepassingen van chloor bestaan acceptabele alternatieven. Van een aantal potentiële vervangers zijn nog te weinig gegevens beschikbaar. Freonen zijn in het verleden als koelmiddel ingezet om het zeer toxische ammonia te kunnen elimineren, met als gevolg dat er nu een probleem is met de stratosfeer. Dergelijke ervaringen dwingen tot terughoudendheid en voorzichtigheid. Gerichte soberheid in consumptie is, zeker in deze fase van overgang, niet te vermijden en is, als gerekend wordt over langere termijn, ook in termen van minimalisering van macro-economische kosten een noodzakelijke propositie.

Andere posities in de duurzaamheidsmatrix wordt verweten het duurzaamheidsrisico van conventionele economische groei te onderschatten, onvoldoende oog te hebben voor de mechanismen die de beheerskosten voor de desbetreffende chloorverbindingen sterk verhogen, bij de invoering van alternatieven teveel risico te nemen en het welvaartsverlies door gerichte soberheid in consumptie te overschatten.

5.5.2 Nadere illustratie (VC)

Produktie en transport

VC

De verbetering die bij de chloorrhoudende produktiesystemen is aangebracht, is meer een teken van wat er vroeger fout was, dan van wat er nu

goed is. De milieuproblemen ten gevolge van de produktie en transport worden teveel gebagataliseert. De risico's van calamiteiten zijn groter dan bijvoorbeeld in de positie (MC) wordt gesuggereerd. Naast direct aan-toonbare effecten bestaat, na een calamiteit, bij een veel grotere groep mensen de terechte vrees voor later optredende effecten. Dit welzijnsverlies, en de kosten die daarmee gepaard gaan, dient te worden meegewogen. Zelfs reguliere lozingen als die van anorganische chloriden kunnen niet als geheel onbelangrijk worden weggewimpeld. Zij leiden op een aantal plaatsen tot een substantiële watervervuiling. In meerdere gevallen is nog een veel verdere reductie van de lozing van schadelijke stoffen en verhoging van de veiligheid noodzakelijk om tot een duurzame invulling te komen. De inspanning die daarvoor moet worden geleverd, zal groot zijn, terwijl de effectiviteit van de maatregelen niet is gegarandeerd. Het is in veel gevallen zinvolle, veiliger en economischer over te gaan op chloorloze processen en produkten.

Voor wat betreft het transport moet worden gesteld dat risicobeschouwingen teveel kijken naar de kans op sterfte en te weinig naar (de kosten van) 'maatschappelijke ontwrichting'. Bij calamiteiten met chloor kan deze ontwrichting aanzienlijk zijn.

PVC

VC

Milieuviriendelijke produktie, verbranding en hergebruik van PVC is, ondanks alle inspanning en vooruitgang, nog niet bereikt. De produktie van het kankerverwekkende vinylchloride en van andere stoffen die voor PVC-formuleringen noodzakelijk zijn, is nog niet geheel zonder problemen. Recyclingbedrijven hebben het over het algemeen moeilijk. De aanwezigheid van chloor in PVC geeft zowel bij herverwerking als bij verbranding problemen die, als ook de nu afgewentelde kosten zouden worden meegenomen, sterk kostenverhogend werken. Ondanks alle pogingen in die richting, is integraal ketenbeheer nog steeds niet bereikt. Voor vele toepassingen van PVC zijn redelijk goede vervangers. Bij sommige toepassingen is sprake van een technisch nadeel, maar dit moet voorlopig worden geaccepteerd. De ecologische, en op termijn ook de macro-economische voordeelen van het vermijden van PVC worden groter geacht dan dergelijke nadelen.

Bestrijdingsmiddelen

VC

Bestrijdingsmiddelen berokkenen nog steeds schade aan mens en dier. Door ophoping en doorlek naar andere milieucompartimenten wordt een aanzienlijke erfenis achtergelaten. Grondgebonden residuen - soms oplopend tot 60% van het verbruik - zijn vaak zeer persistent (>100 jaar) en hebben het karakter van een tijdbom. Het aantal jaarlijkse slachtoffers van gebrekige veiligheidsmaatregelen en 'bedrijfsongevallen' is groot. De concentratie van bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater overschrijdt de

toegestane normen aanzienlijk, bijvoorbeeld bij dichloorvos zeer frequent met een factor van bijna 100.000. Ook in het drinkwater zitten bestrijdingsmiddelen. Deze horen daar niet in die mate in thuis. Het is van groot belang dat snel wordt overgegaan op milieuvriendelijker alternatieven. Het welvaartsverlies in de Derde Wereld dat daardoor in eerste instantie kan worden veroorzaakt, dient door rijke landen op constructieve manier te worden gecompenseerd. Het welvaartsverlies dat dit voor ontwikkelde landen tot gevolg heeft, wordt in deze positie geaccepteerd.

CFK-vervanging

VC

Globale schattingen doen vermoeden dat een vermindering van de stratosferische ozonlaag met 8% in de wereld ongeveer 2 miljoen extra kankergevallen per jaar geeft (melanoma en andere vormen). Daarnaast bestaan nog vele andere ernstige effecten. Met name minder mobiele organismen, zoals planten en algen, zullen door toenemende UV-straling sterk worden beïnvloed. Snelle reductie van alle halogeenverbindingen die bijdragen aan de aantasting van de ozonlaag - naast CFK's bijvoorbeeld ook tetrachloor-koolstof, methylchloroform (oplosmiddel) en methylbromide (bestrijdingsmiddel) - is over de gehele wereld absoluut noodzakelijk. Rijke landen moeten minder draagkrachtige landen steunen bij de eliminatie van chloorverbindingen. Beschikbare alternatieven moeten over de gehele wereld snel worden ingezet.

Dioxine-emissie

VC

Bij blootstelling aan hogere doses van gechloreerde dioxinen ontstaat een veelheid van verschijnselen: huid (chlooracne, verhoorning, afwijkende haargoei), organen (beschadiging lever, pancreas, nier, hart), immuunstelsel (schade T-lymfocyten), hormoonstofwisseling, voortplantingsfuncties, zenuwstelsel, celdeling (kankerbevorderend en kankerinitiërend). De onschadelijkheid bij lage doses kan, gelet op recent onderzoek, ernstig in twijfel worden getrokken. Er is nog weinig met zekerheid bekend, maar er mag geen risico worden genomen. Bij de huidige normstelling kunnen vraagtekens worden gezet. Blootstelling aan geringe doses verhoogt naar het zich laat aanzien de kwetsbaarheid voor andere schadelijke stoffen en voor ziekten. De totale emissie van dioxinen is slechts in globale zin maatgevend voor de ernst van de dioxineproblematiek. Bij gedifferentieerde verspreiding van dioxinen bestaat het gevaar dat afwijkend (consumptie)gedrag wordt afgestraft met een veel te hoge blootstelling. Uit het oogpunt van duurzaamheid dient te worden gekeken naar de blootstelling van het meest gevoelige nuttige organisme. Met name toppredatoren lopen groot gevaar. De aanwezigheid van schadelijke stoffen als dioxinen en furanen moet verder worden verminderd, hetgeen ook geldt voor de precursoren daar-

voor. Dit vereist een grote terughoudendheid bij open gebruik van chloorhoudende produkten.

6 SYNTHESE: NAAR NIEUWE ACCENTEN IN BELEID

Zonder in strijd te komen met de huidige wetenschappelijke kennis en gedoogd door de algemene definitie van duurzaamheid kunnen bij de gang naar duurzaamheid vooralsnog ver uiteenlopende wegen worden gekozen, zowel met (veel) meer als met (aanzielijk) minder chloor.

De exercitie in onzekerheid van het vorige hoofdstuk, bedoeld als nadere illustratie en onderbouwing van voorgaande stelling, kan enigszins verwarringen werken. Bij de gang naar duurzaamheid is een 'gevoel van richting' noodzakelijk. Door wijd uiteenlopende perspectieven te schetsen en deze qua duurzame uitkomst vooralsnog gelijkwaardig te veronderstellen, kan een gevoel van richting worden ontnomen. Een belangrijke vraag is hoe in de praktijk verder moet worden gehandeld.

Een voor de hand liggende aanpak is de verschillende wegen naar duurzaamheid te bekijken op 'realiteitsgehalte' en door te lichten op economische, ecologische en maatschappelijke gevolgen. Op basis van de bevindingen zou dan kunnen worden gekomen tot een expliciete keuze. Dit is echter eenvoudiger gezegd dan gedaan. Alle posities leggen een claim op deels nog onbewezen technieken, doen expliciete en impliciete veronderstellingen over het maatschappelijke aanpassingsvermogen en brengen zichtbare en verborgen kosten (en baten) met zich mee. In het kader van deze studie waren op die gebieden te weinig wetenschappelijk betrouwbare gegevens en relaties bekend op basis waarvan op objectieve wijze een optimale keuze zou kunnen worden gemaakt. De grote verschillen in inzicht zoals weergegeven in het vorige hoofdstuk, strekken zich uit tot de economische, ecologische en maatschappelijke gevolgen. Binnen de grenzen van wetenschappelijke onzekerheid zijn ook op die gebieden nog zeer uiteenlopende inschattingen gelegitimeerd⁸⁶. In een dergelijke omgeving van fundamentele en deels ongestructureerde onzekerheid lost ook een normatief-politieke besluitvorming de problemen niet echt op. Het ontbreekt daarvoor teveel aan inzicht in de gevolgen van de keuzes die zouden kunnen worden gemaakt. Voorlopig is de conclusie gerechtvaardigd dat de gang naar duurzaamheid geen kwestie is van alles even op een rij zetten, één keer goed nadenken, om daarna voor eens en voor altijd de enig 'juiste keuze' te maken. Het is een continu en iteratief proces van actie, observatie en reflectie. Een proces waarbij significante bijstelling van eerdere inschattingen en oordelen door geen van de betrokken partijen mag worden uitgesloten.

De vraag is hoe bovengenoemd leerproces verder moet worden ingevuld. Gelet op de chloordiscussie lijken drie zaken van primair belang:

- *goede algemene uitgangspunten*
Het milieubeleid van de overheid heeft zich de laatste decennia sterk gericht op het ontwikkelen van specifieke instrumenten. Door vele deskundigen in

⁸⁶ Recentelijk zijn pogingen gedaan om de kosten van overgang op een chloorloze economie te bepalen. Deze pogingen hebben het inzicht in de (vele) factoren die een rol spelen zeker vergroot. De berekeningen bevatten echter veel arbitraire stappen en inschattingen. Een eenduidig wetenschappelijk overtuigend resultaat geven deze studies nog niet.

vele landen is hier een grote inspanning verricht. Het beleid heeft daardoor op onderdelen zeker aan kracht gewonnen. De meeste beleidsinstrumenten op milieugebied, en daarmee ook op het gebied van chloor, lijken nu echter inmiddels wel bedacht. Het gaat er momenteel vooral om de bestaande instrumenten in een effectieve slagorde te zetten. Hiervoor is een (hernieuwde) aandacht voor de meer fundamentele uitgangspunten van het beleid van essentieel belang.

vermindering van onzekerheid

Onverlet de vrij grote en principiële onzekerheden, blijft het zinvol bij de gang naar duurzaamheid op wetenschappelijk gefundeerde wijze reductie van onzekerheid na te streven. Het achterwege laten van onderzoek, met als motivering dat de onzekerheid toch nooit geheel kan worden weggenomen, zou de rationele basis van het te voeren beleid teveel kunnen aantasten en eerdergenoemd leerproces sterk kunnen belemmeren.

verhoging van flexibiliteit

Vermindering van onzekerheid neemt tijd in beslag. Het wachten op het moment dat 'alle feiten boven tafel zijn', kan een te grote traagheid tot gevolg hebben. Onzekerheid mag niet leiden tot onnodig uitstel van actie. Bij maatschappelijke ongewisheid over de beste aanpak en richting, zoals bij chloor momenteel zeker het geval is, is het zinvol een strategie te kiezen waarbij vooralsnog belangrijk te achter opties binnen redelijke grenzen worden opengehouden. Een strategie die, tezamen met vermindering van onzekerheid, moet voorkomen dat de samenleving vastloopt in een in eerste instantie veelbelovende, maar naar latere bevinding onduurzame richting. Maar ook een strategie die moet voorkomen dat bij de gang naar duurzaamheid onnodig hoge economische en maatschappelijke kosten worden gemaakt. Centraal element in deze strategie is *flexibiliteit*: het vermogen tot (voldoend) snelle aanpassing aan gewijzigde situaties en inzichten.

Deze drie sporen zullen hieronder verder worden uitgewerkt. De uitwerking is voornamelijk gericht op chloor, maar heeft op verschillende onderdelen ook betekenis voor andere stoffen en gebieden.

6.1 Algemene uitgangspunten van een beleid voor chloor

Zoals gesteld, is het van belang de algemene contouren van het overheidsbeleid goed te kiezen. In het kader van de problematiek rond chloor zijn vooral de volgende punten geacht van betekenis:

- oog voor verschillen tussen chloorverbindingen*

Chloorverbindingen vertonen grote verschillen. Met deze verschillen zal in het beleid zoveel mogelijk rekening moeten worden gehouden. Een milieubeleid dat zich uitsluitend en zonder onderscheid richt op (vermindering van

het produktief gebruik van) het element chloor, is in een op flexibiliteit gerichte strategie vooralsnog niet op zijn plaats. Een milieubeleid dat zich richt op chloor als belangrijk aandachtsgebied en daarbij verschillen èn overeenkomsten tussen chloorverbindingen en tussen toepassingen goed in het oog houdt, en zo nodig komt tot een vermindering van het gebruik van afzonderlijke verbindingen of van groepen van verbindingen, heeft wel zin⁸⁷.

doelmatig gebruik van informatie

Discussies over onderwerpen als chloor lopen continu het gevaar te ontaarden in een situatie waarbij iedere partij min of meer wordt gedwongen tot 'overschreewing' van het eigen gelijk. Goede en wetenschappelijk verantwoorde bijdragen, zowel vanuit de milieubeweging als vanuit de industrie, kunnen daardoor onvoldoende tot hun recht komen. Voor een goed gebruik van informatie is het niet alleen van belang samen te werken, maar ook een structuur te ontwerpen waarin informatie een duidelijke rol heeft. Op dit moment wordt van vele kanten milieu-informatie gegenereerd. De zin daarvan is niet altijd even duidelijk. Een 'overload' aan informatie ligt in het verschiet. Het beleid dient zo te worden ingericht dat 1) doelmatige inzet van bruikbare informatie wordt gewaarborgd, 2) het scheppen van bruikbare informatie selectief wordt bevorderd en 3) het ontstaan van ondoelmatige en resultaatloze overlegsituaties wordt onderdrukt.

evenwichtige verdeling van het risico van onzekerheid

In het verleden is het risico van onzekerheid teveel afgewenteld op het milieu. Er werd meestal alleen actie ondernomen als schadelijkheid met grote zekerheid was bewezen. Het feit dat 'over schadelijkheid niets met volledige zekerheid bekend is' mag niet leiden tot een situatie van 'analyse paralyse', tot onnodig uitstel van actie en tot ongemotiveerde bijstelling van normen in opwaartse richting. In een strategie waarin flexibiliteit een centrale rol speelt, is het zinvol het risico van onzekerheid meer in de richting van de economie te brengen. Omkering van bewijslast - een verschuiving van 'schadelijkheidsbewijs door de overheid' naar 'onschadelijkheidsbewijs door de industrie' - past in deze lijn. Het vinden van een evenwichtige verdeling, zich onder meer uitend in een goede verhouding tussen reageren en anticiperen, is een van de belangrijkste uitdagingen voor het milieubeleid voor de komende jaren.

⁸⁷ Bij dit standpunt is nog de volgende opmerking te maken. In het bedrijfsleven is het gebruikelijk consumentenvoorkeuren als een gegeven te beschouwen en de 'rationaliteit' daarvan niet in twijfel te trekken. De klant is koning. In dat kader heeft de consument het volste recht een voorkeur te hebben voor chloorloze produkten en produktiesystemen, ofwel voor een chloorloze economie. De rationaliteit daarvan mag niet in twijfel worden getrokken, in het geval dat dat bij andere voorkeuren en consumptiegedrag ook niet gebeurd.

optimaal gebruik van marktkrachten

Het wordt vrij algemeen geaccepteerd dat marktkrachten, indien maatschappelijk goed ingekaderd, een belangrijke rol kunnen en ook zullen moeten spelen bij het nastreven van duurzaamheid. Het besef dat de overheid het niet alleen aankan, is de laatste jaren alleen maar gegroeid. Er moet in goed overleg een omgeving worden geschapen waarin concurrentie op basis van 'milieu-performance' wordt bevorderd en waarin marktconforme stimulansen voor preventief onderzoek en voor informatie-uitwisseling bestaan. Optimale benutting van marktkrachten vereist dat schaarsteverhoudingen op economisch en op milieugebied veel meer in relatieve prijzen tot uitdrukking worden gebracht. Daar waar de wetenschap nog onzeker is, kan door marktkrachten, onder voorwaarde dat de prijzen een afspiegeling zijn van de werkelijke maatschappelijke kosten, veel duidelijkheid worden geschapen

88

6.2 Vermindering van onzekerheid

Ieder beleid dat de pretentie heeft een rationele basis te hebben, zal streven naar vermindering van onzekerheid, ook al bestaat de ervaring dat achter iedere beantwoorde vraag weer vele nieuwe vragen schuil gaan en sommige zaken op ecologisch gebied bijzonder moeilijk te achterhalen zijn. Voor wat betreft chloor, verdienen momenteel verschillende onderwerpen verdere studie. In tabel 6.1 wordt een aantal gesuggereerd.

Tabel 6.1 Een onderzoeks- en ontwikkelingsagenda voor chloor

- . verdere verbetering van milieuzorgsysteem;
- . geavanceerde systemen voor processturing;
- . voorkoming en opvang van calamiteiten (is deels ook een organisatorische zaak), simulaties, training en ondersteuning met expert-systemen, onderzoek naar mogelijkheden voor risicoreductie door bepaalde vormen van procesintegratie;
- . opvang en hergebruik van vluchtlige stoffen, waaronder gechloreerde koolwaterstoffen;
- . herkennings- en (bulk)sorteertechnieken voor plastics, waaronder PVC;
- . milieuvriendelijk, waar zinvol recycling-gericht, ontwerpen;
- . onderzoek naar optimaal evenwicht tussen verschillende vormen van hergebruik;
- . ontwikkeling en verbetering van hulpstoffen, zoals compatibilisatoren om verschillende niet-mengbare polymeren mengbaar te maken, kostendaling van deze hulpstoffen (toepassing is nu nog duur);
- . thermische technieken als vergassing en pyrolyse van kunststofmengsels, voor 'back to feedstock';
- . destructietechnologie voor verschillende chloorhoudende koolwaterstoffen, zoals CFK's en HCFK's, omzetting van CFK's in HFK's;
- . verbrandingstechnieken: verdere vermindering van primaire, secundaire en tertiaire vorming van dioxinen en furanen door geavanceerde processturing, verhoging stabiliteit van verbrandingscon-

88]

In dit kader kan worden gewezen op de wetenschappelijk veelal nog weinig overtuigende uitkomsten van LCA. Indien de werkelijke kosten van milieuaantasting langs de gehele keten zouden worden verhaald, dan schept de markt via de prijs ook in milieu-opzicht duidelijkheid en zijn LCA's grotendeels overbodig.

- dities en verandering van samenstelling van vuurhaardvoeding; verbeterde rookgasreiniging, terugwinning van energie, conditionering van residustromen;
- . alternatieve afvalverwerkingstechnieken, zoals verglazing van residuen voor stort of hergebruik;
- . onderzoek naar de invloed van gelijktijdige verwijdering van PVC en GFT bij verbranding van huisvuil op dioxinevorming en -uitstoot, ook invloed op residu;
- . meer onderzoek naar en ontwikkeling van vervangers voor potentieel schadelijke chloorverbindingen met open toepassing:
- . perfectionering van vervangers voor PVC;
- . Inventarisatie van de mogelijkheden voor vervanging van chloor als hulpstof, bijvoorbeeld fosgeenvrije produktieprocessen voor Isocyanaten en polycarbonaten, chloorvrije silanen voor silicoonsynthese;
- . onderzoek naar alternatieve produktiemethoden voor natronloog;
- . evaluatie van noodzakelijke aanpassingen van industriële produktieprocessen waardoor inzet van alternatieve alkali's meer mogelijk wordt;

- . aanwezigheid van synthetische chloorverbindingen in het milieu;
- . natuurlijke achtergrond van organochloren;
- . rol van synthetische precursoren of andere vormen van vervuiling bij het ontstaan van natuurlijke organochloren;
- . transformatie van chloorverbindingen in schadelijke volgprodukten;
- . optreden van schadelijke effecten als gevolg van blootstelling aan chloorhoudende stoffen en eventuele alternatieven daarvoor;
- . ozonlaag: invloed van andere (halogeen)verbindingen, rol van natuurlijke emissieprocessen;
- . dioxinen en furanen: spreiding van gevoelighed (tussen en binnen soorten), receptorbinding, oestrogenmimicry, dosis-effectrelatie, non-carcinogene effecten, feitelijke blootstellingsniveaus, risico's voor mens en milieu van aan dioxine verwante verbindingen;
- . combinatie-effecten van chloorhoudende verbindingen onderling en met andere stoffen;
- . aanwezigheid en risico's van grondgebonden residuen;

- . kosten voor vermindering en sanering van problemen met chloorverbindingen, op micro-, meso- en macro-niveau;
- . kosten van overgang op en vermindering van problemen met chloorvrije alternatieven, op micro-, meso- en macro-niveau;
- . effecten van verschillende vormen van heffing, bijvoorbeeld van stofstatiegeld voor chloor; bijdrage daarvan aan verdere ontwikkeling van ketenbeheer van chloorprodukten;
- . invloed van produktketensluiting en -optimalisatie op flexibiliteit;

- . onderzoek naar het bestaan van informatiekorten, mogelijkheden voor het opheffen daarvan, verwerking van informatie in opleidingen, daarbij evenwichtige weergave van de verschillende standpunten;
- . verdere ontwikkeling van goede maatschappelijke evaluatiemethoden, zowel produktgericht als systeemgericht, toepassing daarvan op chloorhoudende processen en produkten en op chloorvrije alternatieven daarvoor;
- . verbetering van procedures van norm- en prioriteitsstelling, objectief overzicht van verschillende opvattingen over normstelling, algemeen en specifiek (bijvoorbeeld voor dioxinen);
- . onderzoek naar de meest effectieve vormen van milieu-diplomatie (basisvoorwaarden en transactiemechanismen).

Bij reductie van onzekerheid gaat het niet alleen om ruimere beschikbaarheid van wetenschappelijke kennis en om snelle aanvulling van deze kennis door gericht wetenschappelijk onderzoek. Het gaat ook om de creatie en de instandhouding van een structuur en een omgeving waarin *objectiviteit, volledigheid en betrouwbaarheid* van kennis en informatie zo goed mogelijk

worden gegarandeerd. Nieuwe en bestaande informatie zal de maatschappelijke onzekerheid over de te nemen weg naar duurzaamheid, en daaraan gekoppeld de inzet van chloor, slechts verminderen als de betrouwbaarheid door alle relevante partijen voldoende hoog wordt geacht. In de chloordiscussie liggen op dit gebied problemen. Vanuit de industrie wordt de milieubeweging verweten een grote hoeveelheid gekleurde en achterhaalde informatie over het grote publiek uit te strooien, terwijl vanuit de milieubeweging de chloor-industrie wordt verweten in haar informatieverschaffing op zijn minst sterk onvolledig te zijn. Wetenschap, economische belangen en politieke standpunten lopen teveel door elkaar. Normatieve uitgangspunten, hoe legitiem op zich ook, worden soms verborgen achter wetenschappelijke resultaten naar buiten gebracht. Experts worden meer dan eens verleid tot het doen van uitspraken op gebieden die ver buiten hun eigenlijke expertise liggen. De huidige structuur van informatieverschaffing en -overdracht lijkt problemen op dit vlak soms eerder te bestendigen, dan te verminderen. Dit geldt ook voor de wetenschap. Zo is de onafhankelijkheid van wetenschappelijk onderzoek een mooi ideaal, maar de vraag is of in de huidige situatie daar onder alle omstandigheden zonder meer van kan worden uitgegaan. De toenemende druk om continu onderzoeksgelden binnen te halen dwingt tot calculatie, hetgeen kan leiden tot een *te selectieve Invulling van onderzoeks-vragen*, tot het voorstellen van *onnodig vervolgonderzoek*, tot *selectieve verdringing van onzekerheid* en tot een *presentatie van onderzoeksresultaten die welgevallig is voor de meest kapitaalkrachtige of Invloedrijke opdrachtgever*. In een dergelijke context kan ook de meest betrouwbaar te achten informatiebron - de wetenschap - te kampen krijgen met een probleem in het betrouwbaarheidsimago, ook daar waar dat in feite volstrekt onterecht is. Bij de gang naar duurzaamheid dient een omgeving worden geschapen waarbij deze verschijnselen, die nooit helemaal zijn te voorkomen, zo weinig mogelijk invloed hebben.

6.2.1 LCA en de VNCI/McKinsey-methode

In aansluiting op voorgaande (exemplarische) opsomming van onderzoekspunten, verdient een tweetal onderwerpen nog wat meer aandacht. Het eerste betreft levenscyclusanalyse (LCA) en in het verlengde daarvan de evaluatiemethode zoals die in Nederland in opdracht van de Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI) en de ministeries van EZ en VROM is uitgewerkt door McKinsey & Company⁸⁹.

In 4.2.6 werden over LCA al enkele opmerkingen gemaakt. Levenscyclusanalyse is een verzamelnaam voor activiteiten die beogen de gehele levenscyclus van een produkt - 'van de wieg tot (en met) het graf' - te analyseren. LCA kan op verschillend niveau van aggregatie worden verricht, van een zeer gedetailleerde kwantitatieve analyse tot een globaal kwalitatief overzicht van knelpunten. Technieken als LCA worden reeds lang toegepast, zowel binnen als buiten het bedrijfsleven. Het gaat daarbij niet altijd of alleen om energie, grondstoffen en het milieu. Door nadere analyse van produktie- en produktketens trachten bedrijven ook te komen tot verhoging van produktkwaliteit, kostenverlaging, versnelling van ontwikkelings- en produktieprocessen en snellere reactie op marktverschuivingen. Voor wat betreft de milieugerichte LCA's wordt op internationaal niveau al sinds enige tijd gestreefd naar coördinatie, harmonisatie en standaardisatie. Gewezen kan worden op het werk van de Strategic Advisory Group on the

⁸⁹ Integrated substance chain management, VNCI, Leidschendam, december 1991.

Environment (SAGE, Geneve), een subgroep van de International Standardization Organisation (ISO). Aan wetenschappelijke coördinatie wordt gewerkt door de Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC, USA) en de Environmental Protection Agency (EPA, USA). Ook in Nederland bestaat veel aandacht voor LCA. Het Centrum Milieukunde Leiden (CML) heeft een handleiding voor het uitvoeren van milieugerichte LCA opgesteld. De Stichting MilieuKeur beoordeelt op basis van levenscyclusanalyse produkten en kent, indien wordt voldaan aan bepaalde eisen, het Nederlands MilieuKeur toe. In de Nota Produkt & Milieu van het ministerie van VROM speelt LCA een centrale rol.

LCA is tot nu toe vooral succesvol geweest als analyse-instrument, en veel minder als meet- en beoordelingsinstrument. De beschikbaarheid en de betrouwbaarheid van de noodzakelijke gegevens zijn vaak nog onvoldoende. De methoden voor toedeling bij multi-output processen en voor weging van ongelijksoortige grootheden, zoals verschillende milieu-effecten, zijn nog discutabel. De uitkomsten zijn sterk conditioneel, dat wil zeggen sterk afhankelijk van wat er elders of later gebeurt. Ook bestaat er het probleem van de juiste afbakening. Bij een te nauwe keuze van de keten bestaat het gevaar van sub-optimalisatie en daaraan gekoppeld een onjuiste prioriteitsstelling⁹⁰. Verder is het zo dat kwantitatieve LCA's in de meeste gevallen gecompliceerd en tijdrovend zijn. Gedegen analyses vragen soms zoveel tijd dat als de resultaten beschikbaar komen, de situatie al weer significant is gewijzigd. Het ziet er niet naar uit dat de meer fundamentele problemen snel zijn op te lossen. Harmonisatie en standaardisatie van data en toedelingsprotocollen, zoals die nu op internationaal niveau worden nagestreefd, maken het uitvoeren van LCA's wel eenvoudiger, maar lossen de meeste problemen niet op. Zij kunnen zelfs leiden tot een onterecht gevoel van zekerheid en kwantitatieve scherpte. In het verlengde van de ervaring tot nu toe, moet LCA voorlopig vooral worden gezien als een (belangrijk) analyse-instrument, en veel minder als een beoordelingsinstrument.

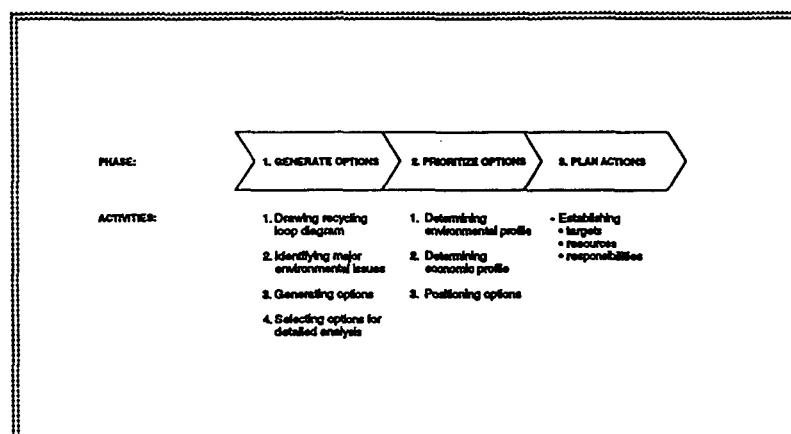
In het rapport '*Integrated substance chain management*' werd door de VNCI een methode gepresenteerd die tot doel heeft het besluitvormingsproces over proces- en produkt-alternatieven te verbeteren. Vooral vanuit de chemische industrie wordt gewezen op het belang van deze methode. De VNCl-methode wordt schematisch weergegeven in figuur 6.1. Ter illustratie wordt in deze figuur een optie - recycling van met chloor als hulpstof geproduceerd polycarbonaat (fosgeenroute) - nader uitgewerkt.

⁹⁰] Het probleem van afbakening speelt een belangrijke rol in de milieudiscussie. De industrie voelt vooral voor een benadering waarbij per produkt(keten) en per toepassing met inbreng van zoveel mogelijk detail-informatie wordt gezocht naar de optimale keuze tussen produkten of materialen. Dit maakt, in de optiek van die benadering, een eerlijke vergelijking tussen chloorrhoudende en chloorloze produkten mogelijk. De milieubeweging kiest merendeels voor een bredere systeembenedering waarbij meer gewicht wordt toegekend aan het feit dat een optimale keuze op deelniveau nog geen optimale keuze voor de samenleving als geheel behoeft te zijn. Bij een smalle produktgerichte aanpak, hoe waardevol op zich ook, bestaat het gevaar dat grotere verbanden uit het oog worden verloren en dat teveel het marginale verlengde van het bestaande wordt gezocht. Met name als het gaat om duurzaamheid, waarbij uiteindelijk de gehele samenleving in geding is, zou een meer systeengerichte benadering zijn aangewezen. PVC kan in die optiek niet los worden gezien van andere chloorverbindingen. In de brede systeengerichte benadering past (terecht) een grote huiver voor een discussie die uitsluitend per produkt en per toepassing wordt gevoerd. Alhoewel bij de discussie in de praktijk soms aantoonbaar foute argumenten worden gebruikt, kan bij de huidige stand van de wetenschap de ene benadering niet minder rationeel of minder wetenschappelijk worden genoemd dan de andere.

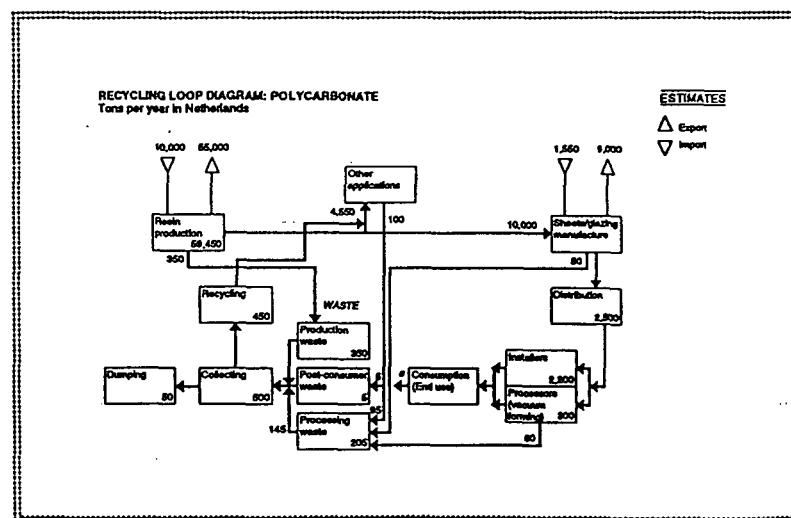
Figuur 6.1

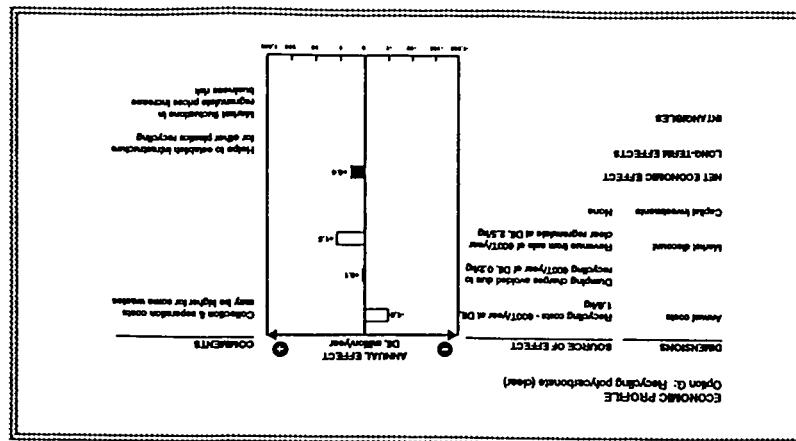
**Schematisch overzicht van de VNCI/McKinsey-methode
(met polycarbonaat als plaat/glas als voorbeeld)**

De methode omvat drie fasen:

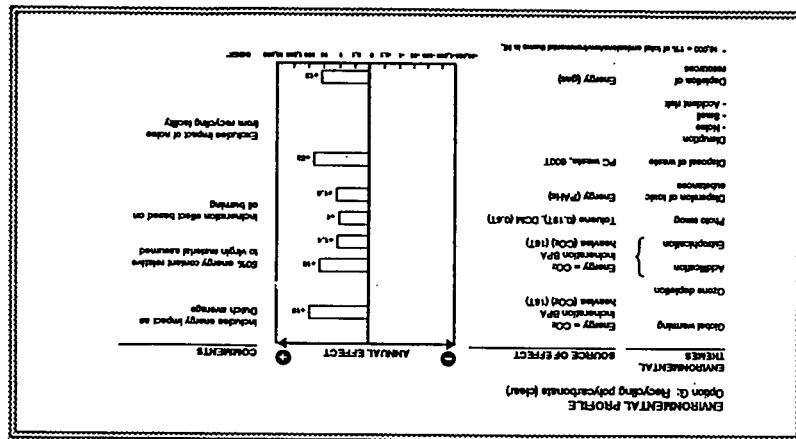


Bepaling van de kringloop:

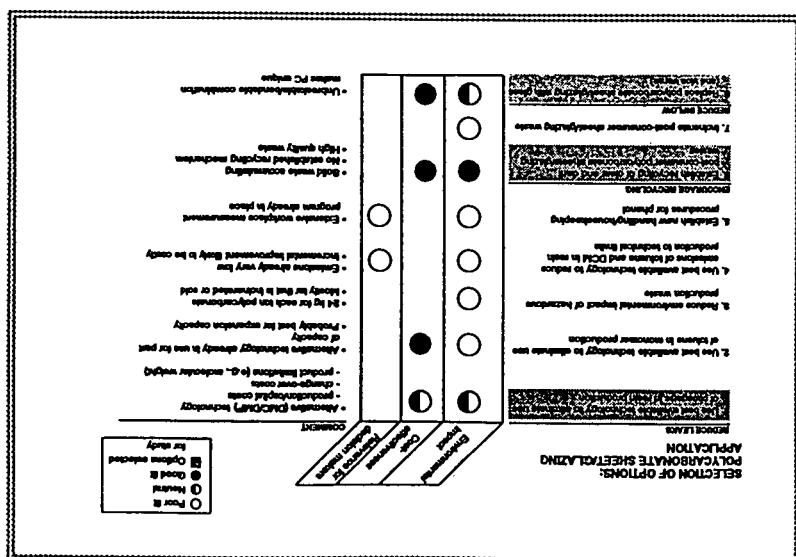




Economisch profiel van geselcteerde optie(s):

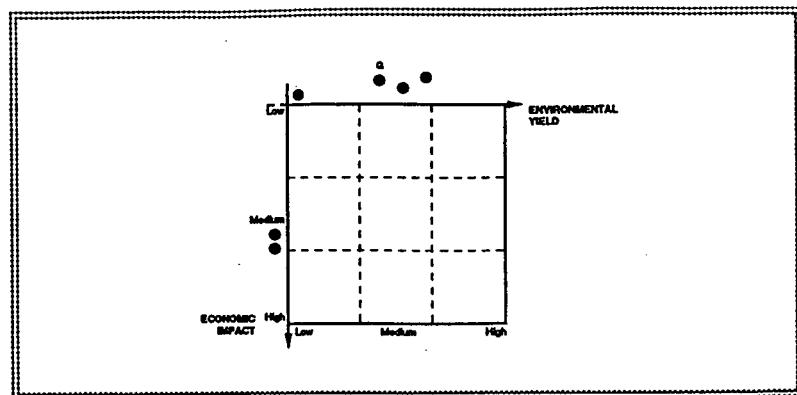


Milieuprofile van geselekteerde optie(s):



Selectie van opties:

Positionering van opties:



actie

Bron: *Integrated substance chain management*, VNCl, 1991.

De VNCl/McKinsey-methode maakt gebruik van de resultaten van LCA. De knelpunten die zich voordoen bij LCA, zijn ook hier voelbaar. Zo wordt in het genoemde VNCl-rapport meermalen gewezen op het controversiële karakter van sommige van de gebruikte data. De VNCl/McKinsey-methode biedt een gestructureerde manier om te werken aan consensus in besluitvorming. Dat is op zich waardevol. Natuurlijk kan de vraag worden gesteld wat het maatschappelijk gewicht is van een consensus die in een kleine deelnemersgroep wordt bereikt en ook of de meerwaarde van een dergelijke beperkte consensus wel opweegt tegen de relatief grote inspanning die de methode vergt. Verder geldt ook hier dat het invullen van de noodzakelijke (maar vaak ontbrekende) gegevens, de beperkte selectie van (geaggregeerde) milieuproblemen en de grote wil te komen tot consensus ongewild kunnen leiden tot een ongerechtvaardigde inperking van de discussie. Dit neemt niet weg dat, indien oog bestaat voor dergelijke beperkingen, de VNCl/McKinsey-methode een stimulerende bijdrage kan leveren aan een rationele invulling van de weg naar duurzaamheid. De methode zal daarbij vooral de functie hebben van een instrument waarmee keten-onderdelen die zich lenen voor (milieu)verbetering in consensus op het spoor kunnen worden gekomen.

6.3 Verhoging van flexibiliteit

In het voorgaande is gewezen op het belang van flexibiliteit. Een aanpak gericht op flexibiliteit verhoudt zich goed met duurzaamheid. In feite is duurzaamheid voor een groot deel flexibiliteit. Het vermogen van toekomstige generaties om binnen zekere grenzen hun samenleving nog naar eigen goeddunken te kunnen inrichten, zonder daarbij te worden gefrustreerd door onomkeerbare uitputting van belangrijk te achten fysieke systemen en levende organismen of door een vrijwel onoverkomelijke erfenis in termen van vervuiling, heeft veel te maken met flexibiliteit.

De keuze voor flexibiliteit is een erkennung van het feit dat een aantal belangrijke vragen niet (voldoende snel) beantwoordbaar is. En eigenlijk ook dat het onverstandig is de gang naar duurzaamheid uitsluitend als een normatief-politiek keuzeprobleem weg te projecteren. Politieke keuzes zijn nodig, maar nemen de noodzaak van het vinden van een stuurmethode die goed weet om te gaan met onzekerheid niet weg. De waarschijnlijkheid om op weg naar duurzaamheid de gekozen richting te moeten bijstellen, dwingt tot een strategie waarbij minimalisering van de (maatschappelijke) kosten van verandering (van de eerder ingeslagen richting) in kwalitatieve zin meer centraal staat⁹¹. Het mijden van schadelijk te achten 'onomkeerbaarheden' is, vanwege de (soms oneindig) hoge herstekosten daarvan, een logisch gevolg van deze strategie.

Flexibiliteit vereist een zekere mate van *diversiteit*. Hiermee is rekening gehouden in de onderzoeks- en ontwikkelingsagenda zoals gepresenteerd in tabel 6.1. Naast vergroting van de mogelijkheden voor vervanging van chloorprodukten, worden bijvoorbeeld ook voorstellen gedaan voor verbetering van deze chloorprodukten. In de praktijk wordt een objectieve afweging tussen chloorloze en chloorhoudende produkten vaak belemmerd omdat vooral naar de eerste veel minder onderzoek is gedaan. Een grotere mate van diversiteit vermindert dit probleem.

Flexibiliteit moet niet ontaarden in *grilligheid*. Het steeds weer verleggen van de koers kan, als de motivering daarvan onvoldoende is, de geloofwaardigheid van het beleid sterk aantasten. Voorkomen moet worden dat, daar waar de onzekerheden toch al groot zijn, het overheidsbeleid de meest onzekere factor wordt. Dit alles dwingt tot het uitzetten van een aantal vaste bakens. Hieronder zullen enkele daarvan worden besproken.

6.3.1 *Een ruime definitie van geslotenheid*

Kringloopsluiting is een centraal element bij de gang naar duurzaamheid, ongeacht de weg die daarbij wordt gekozen. Zoals eerder in deze studie werd gesteld, zijn volledig gesloten kringlopen in de zin dat na het doorlopen van de kringloop volstrekt niets is veranderd, zeker in energetisch opzicht en in de praktijk vrijwel ook altijd in materieel opzicht onmogelijk. Door uit te gaan van een strikt fysieke interpretatie, zou kringloopsluiting sterk in de richting van 'nul-emissie' worden gedrukt. Bij het nastreven van nul-emissie worden de risico's van onzekerheid wel zeer eenzijdig bij de economie gelegd (zie het derde punt in 6.1). In het kader van een flexibele gang naar duurzaamheid heeft het voordelen een enigszins geamendeerde notie van geslotenheid te hanteren. Twee zaken zijn van praktisch belang. Ten eerste is het zinvol bij kringloopsluiting rekening te houden met het feit dat meerdere synthetische chloorverbindingen ook in de vrije natuur worden geproduceerd. Het terugbrengen van de antropogene emissies tot ver beneden het natuurlijke achtergrondniveau lijkt (vooralsnog) niet nodig. Ten tweede is

⁹¹ Er bestaat hier een analogie met ontwikkelingen in (delen van) het bedrijfsleven. Afnemende kenbaarheid en maakbaarheid van markten dwingt het bedrijfsleven innovatie- en produktieprocessen zo in te richten dat onderweg nog relatief grote wijzigingen kunnen worden doorgevoerd. Minimalisering van produktiekosten krijgt in die omstandigheid steeds meer het karakter van minimalisering van de kosten voor verandering. Minimalisering van de kosten van verandering neemt een centrale positie in bij 'concurrent engineering'.

het zinvol niet uit te gaan van fysieke emissiestromen, maar 'onschadelijkheid' centraal te stellen. Geslotenheid kan dan als volgt worden gedefinieerd: een keten - winning, productie, vervoer, consumptie en eindverwerking - wordt gesloten genoemd als de reguliere en accidentele emissies niet uitstijgen boven de natuurlijke achtergrond of als, indien de emissies daar bovenuit gaan, de 'onschadelijkheid' daarvan in bestaande en te verwachten situaties met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid is aangetoond. Het gebruik van een dergelijke definitie is niet zonder gevolgen voor het te voeren milieubeleid.

6.3.2 *Omkering van bewijslast*

Bovenstaande definitie van geslotenheid bevat een element van *omkering van bewijslast*. In plaats van dat een activiteit is toegestaan totdat schadelijkheid van de emissies met redelijke zekerheid is aangetoond, zal in een duurzame toestand een activiteit pas zijn toegestaan als 'onschadelijkheid' van de emissies met grote zekerheid is bewezen.

Met het oog op duurzaamheid moet, daar waar sprake is van onzekerheid, worden toegewerkt naar een situatie waarin daling van excess-emissies - emissies die uitgaan boven de natuurlijke achtergrond - de normale en vanzelfsprekende uitgangspositie is. Een situatie die slechts op twee manieren kan worden doorbroken: door de emissies beneden de natuurlijke achtergrond te brengen, of door op nader overeen te komen wijze aan te tonen dat de emissies 'onschadelijk' zijn. De aldus geformuleerde omkering van bewijslast is, zeker in een situatie waarin de grenzen van de draagkracht van het milieu in zicht komen, een *onvermijdelijk onderdeel* van een flexibele gang naar duurzaamheid.

Omkering van bewijslast is op milieugebied *geen volledig nieuw begrip*. Er bestaan meerdere overheidsmaatregelen die aspecten van deze omkering in zich dragen. Zij sluit ook goed aan bij het principe van 'Responsible Care' zoals dat door de chloor-industrie wordt voorgestaan. Hierbij wordt als uitgangspunt gehanteerd dat de industrie geen produkt op de markt moet brengen zonder eerst, binnen redelijke grenzen, de onschadelijkheid ook verderop in de gebruiksketen te hebben onderzocht en te hebben gewaarborgd. Voor produktiefaciliteiten en voor bepaalde stoffen of produkten - met name geneesmiddelen en chemische bestrijdingsmiddelen - bestaan toelatings- en gebruiksregimes die in de richting van omkering van bewijslast gaan. Omkering van bewijslast ligt in het verlengde van de Verklaring van Rio de Janeiro (1992) waarin het voorzorgprincipe een belangrijk basisbeginsel voor het toekomstig internationaal recht op het gebied van milieu en ontwikkeling wordt genoemd.

Omkering van bewijslast moet *zorgvuldig* en met oog voor praktische nuances wordt gebruikt. Als bijvoorbeeld bij de introductie van een nieuw produkt - het op de markt brengen van een chemische verbinding of een produkt is ook te zien als een excess-emissie - 'onschadelijkheid' vooraf met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid moet worden bewezen, dan zal vrijwel elke vernieuwing onmogelijk worden gemaakt. Het risico van onzekerheid wordt dan op eenzijdige wijze bij de economie gelegd en vertaald in een verstarring van de economische dynamiek. De economie loopt het gevaar te worden vastgepind op een situatie die verre van duurzaam kan worden geacht. Het zou in het kader van een flexibele gang naar duurzaamheid zeer onverstandig zijn daartoe nu te besluiten.

De ervaring leert dat de effectiviteit van veel milieumaatregelen aanzienlijk toeneemt als deze maatregelen in goede samenspraak en samenwerking tussen de betrokken partijen tot stand komen. Zeker bij een zo fundamentele en gevoelige stap als omkering van bewijslast is deze samenwerking van belang. Het is een uitdaging aan alle partijen de samenwerking niet te laten ontaarden in resultaatloze overlegsituaties of autistisch getinte patstellingen. Een goed gekozen resultaatgerichte structuur van informatie-overdracht kan hierbij helpen.

De choordiscussie overziende, lijkt omkering van bewijslast in ieder geval een *informatie- en onderzoekspligt* te moeten omvatten. Bij excess-emissie wordt de producent gehouden volgens nader overeen te komen protocollen onderzoek te (doen) verrichten en informatie te verschaffen. Deze invulling ligt in lijn met EG-verordeningen of -richtlijnen betreffende bestaande en nieuwe chemicaliën. Sinds 18 september 1981 geldt voor nieuwe chemicaliën op de Europese markt een kennisgevingsplicht (79/831/EEG). Op 4 juni 1993 werd bij EG-verordening deze plicht uitgebreid naar bestaande stoffen, dat wil zeggen naar stoffen die reeds vóór 1981 op de markt waren (793/93/EEG). Het doel is, door middel van het vergaren van informatie, te komen tot een betere risico-beoordeling. Ook op nationaal niveau worden in die richting activiteiten ontplooid. Voor Nederland kan worden gewezen op het project Uniform Beoordelingssysteem van Stoffen (UBS), in het kader waarvan medio 1994 het 'Uniform System for the Evaluation of Substances' (USES 1.0) werd gepresenteerd. Deze ontwikkelingen zijn van belang. Desalniettemin zijn enkele kanttekeningen op hun plaats. In de meeste gevallen is voor een goede risico-beoordeling nog veel onderzoek nodig. Het is de vraag of in de beoogde tijdsperiode voldoende informatie boven tafel kan komen. Een hoge tijdsdruk, een sterk accent op standaardisatie en harmonisatie en een grote wil te komen tot een afgerond systeem met duidelijke uitkomsten kunnen onbedoeld een onjuiste verdringing van onzekerheid en ook een onwelkom verlaging van flexibiliteit oproepen. Waardering voor de structurele elegantie van de beoordelingssystemen moet het besef van inhoudelijke onzekerheden⁹², onvolledigheden en andere onvolkomenheden niet teveel wegdrukken. Van cruciaal belang is de manier waarop de (onvermijdelijk onvolkomen) beoordelingssystemen zullen worden gebruikt. Vanuit de optiek van een flexibele gang naar duurzaamheid, zou het zinvol zijn het noodzakelijke onderzoek voldoende ruimte te geven, maar verordeningen als die van de EG wel zo in te kaderen dat een sterke stimulans voor het genereren en het toepassen van (bruikbare) informatie ontstaat. Dit zou kunnen door bij afwezigheid van noodzakelijke informatie actie niet uit te stellen, maar de desbetreffende economische activiteit te plaatsen in een regime waarin emissie- of risico-reductie vanzelfsprekend is. Alleen door extra informatie, zowel op economisch als op ecologisch gebied, kan de activiteit maatschappelijk worden 'vrijgepleit' en, indien daar reden toe bestaat, worden overgebracht naar een minder streng reductieregime. Gekoppeld aan eisen ten aanzien van 'volledigheid' van informatie en onderzoek en aan een regeling van aanspra-

⁹²] Het is een bekend gegeven dat de huidige procedures voor het stellen van schadelijkheids- en risiconormen nogal wat beperkingen en onduidelijkheden vertonen. Vraagtekens kunnen bijvoorbeeld worden gezet bij de vertaling van gewenste beschermingsniveau's van soorten en systemen naar maximaal toelaatbare risico's (MTR) en verwaarloosbare risico's (VR), bij het hanteren van sterfte als vrijwel enige risicomaat en, daaraan gekoppeld, de overconcentratie op ernstige ziekten als kanker, bij de vergelijking van ongelijksoortige milieu-effecten, bij de keuze van prioritaire aandachtsgebieden, bij de manier waarop humane toxiciteit wordt bepaald uit proefdieronderzoek, bij het gebruik van de resultaten van epidemiologisch onderzoek, bij de wijze waarop rekening wordt gehouden met gevoeligheidsverschillen binnen en tussen soorten en bij het verwaarlozen van combinatiewerking tussen verschillende stoffen c.q. vormen van belasting. Verschillende van deze problemen komen ook terug in UBS/USES 1.0.

kelijkheid achteraf (ten aanzien van vermijdbare onjuistheden en onvolledigheden), kan deze aanpak een sterke marktconforme stimulans voor het genereren en een doelmatig gebruik van informatie opleveren. In dit geheel past een grotere verantwoordelijkheid van de producent bij het leveren van informatie en het (laten) verrichten van onderzoek.

Met het oog op flexibiliteit zou de informatieverschaffing deels ook facultatief kunnen worden gemaakt. Hierbij zou dan, in de geest van bedoelde omkering van bewijslast, gedacht kunnen worden aan een uitruil tussen vrijpleitende informatie en emissie-reductie. Een producent die geen informatie wil verschaffen, bijvoorbeeld omdat verwacht wordt dat deze informatie het desbetreffende product onvoldoende vrijpleit of omdat het noodzakelijke onderzoek duurder is dan emissiereductie, wordt hiertoe niet verplicht, maar zal zich moeten binden aan (een nader overeen te komen mate van) emissiereductie, dit zoveel mogelijk gerekend over de gehele keten. Het verplichte deel van de informatieverschaffing zou daarbij kunnen worden gericht op kwantitatieve emissiegegevens, bijvoorbeeld zoals bij de Toxic Release Inventories (TRI) in de Verenigde Staten. Op deze manier wordt monitoring van emissiereducties (mede) gewaarborgd en wordt een feitelijke basis gelegd voor een verdere bedrijfsinterne en -externe bewustwording.

De meeste kennis over chloor en chloorprodukten ligt bij de *producent*. Deze is daarom de beste plaats om de informatieplicht aan te brengen. Het noodzakelijke onderzoek brengt zeker kosten met zich mee. Het gaat hierbij echter niet om een heffing waarbij de opbrengsten met onbekende bestemming verdwijnen; het gaat om een brongerichte inspanning die op verschillende gebieden zal leiden tot een hogere kennisintensiteit, hetgeen niet alleen positieve gevolgen zal hebben voor het milieu, maar ook kan leiden tot innovatieve uitstralingseffecten. Door de aansluiting bij EG-verordeningen kan het gevaar voor verstoring van concurrentieverhoudingen en voor chloorgerichte produktdiscriminatie worden verminderd. Waar nodig, zou door de overheid tijdelijk geldelijke ondersteuning kunnen worden gegeven. Gezien de opwaartse druk op het kenninsniveau zou een dergelijke ondersteuning, naast kanalisering via gebruikelijke wegen, ook niet misstaan in het wetenschaps- en innovatiebeleid van de overheid

93

De voorgestelde aanpak van emissie-reductie gekoppeld aan omkering van bewijslast geldt zowel voor bestaande als voor nieuwe produkten. Een nieuw produkt moet, als de 'onschadelijkheid' van de bijbehorende emissies niet is aangetoond, voldoen aan de eis van emissie-reductie, dat wil zeggen moeten worden beoordeeld op de mate waarin het bijdraagt aan reductie van de emissies voor de functie waarvoor het wordt ingezet.

Het spreekt voor zich dat geen enkele methode, ook niet omkering van bewijslast, alle risico's volledig kan uitschakelen. Handelen in onzekerheid betekent dat risico wordt gelopen. Het gaat er alleen om dit risico zoveel mogelijk te verkleinen en voor de rest zo evenwichtig mogelijk te

⁹³ In dit kader dient te worden opgemerkt dat in de bestaande economische orde produktiekosten, waaronder die voor preventief onderzoek, uiteindelijk worden betaald door degenen die nut ontleven aan de desbetreffende produktie. Bij een produktie die een perfecte afspiegeling is van de marktvraag, is dat de consument. Via marktprijzen zal deze alle kosten moeten betalen voor de door hem gewenste produktie. Alleen daar waar door marktomstandigheden produktiekosten niet volledig in de prijs kunnen worden doorberekend, terwijl de desbetreffende produktie maatschappelijk wel gewenst is, kan uit collectieve middelen aan de producent ondersteuning worden gegeven.

verdelen over de economie en het milieu. Naast onderzoek vooraf en de vanzelfsprekende verplichting tot emissiereductie bij onzekerheid, is ook 'monitoring' achteraf van groot belang. Een snelle respons op schadelijk te achten effecten vereist dat deze effecten snel op het spoor worden gekomen. Tevens dient een scherpe controle op daadwerkelijke emissies te worden uitgeoefend. Een op flexibiliteit gerichte strategie vereist dat aan deze zaken veel, en op sommige gebieden veel meer, aandacht wordt gegeven.

6.4 Eliminatie van open toepassingen van chloor

Bovenstaande aanpak betekent *fysieke kringloopsluiting met twee ontsnappingsclausules*: emissiereductie behoeft niet verder te gaan dan de natuurlijke achtergrond en excess-emissie is toegestaan als de 'onschadelijkheid' daarvan duidelijk is aangetoond, dit bij omkering van bewijslast. Het algemene principe is dat emissies overal moeten dalen. Indien gegenereerde informatie daar reden toe geeft, kan een activiteit echter in een minder streng kringloopsluitings-regime worden geplaatst. Daar waar 'onschadelijkheid' niet in redelijkheid is te bewijzen en waar ook emissie-reductie onvoldoende mogelijkheden biedt, zal moeten worden overgegaan tot vermindering of eliminatie van het desbetreffende produkt. Deze aanpak wordt ook voorgesteld voor chloor.

Het lijkt onverstandig om een principe als omkering van bewijslast uitsluitend op te hangen aan chloor. Ten eerste, omdat het hier gaat om een algemeen principe dat ook zijn waarde heeft voor andere stoffen en produkten. En, ten tweede, omdat een toepassing uitsluitend voor chloor zich waarschijnlijk niet goed verhoudt met de bestaande rechtsorde.

De voorgestelde aanpak maakt volledige eliminatie van het produktief gebruik van chloor niet onmogelijk. Het gaat echter in eerste instantie om kringloopsluiting, dat wil zeggen om reductie van nog niet vrijgeplijte excess-emissies, en niet om de eliminatie van chloor. Of bij gegeven eis tot emissiereductie of vrijpleitende bewijsvoering chloorprodukten of -processen kunnen worden gehandhaafd, of dat moet worden overgaan op chloorvrije produkten en/of processen, is vooral een zaak van de markt. Bij het bepalen van het basistempo van emissiereductie kan de overheid onderscheid maken tussen verschillende groepen van verbindingen. De ervaring met chloorverbindingen in het verleden, zowel in positieve als in negatieve zin, zal daarbij zeker een rol spelen.

Het is zinvol globaal aan te geven welke gevolgen de geschatste aanpak waarschijnlijk heeft voor de inzet van chloor. Het spreekt voor zich dat daarbij een voorschot moet worden genomen op een analyse, een politieke discussie en een maatschappelijk leerproces die grotendeels nog niet hebben plaatsgevonden. De onderstaande weergave is dan ook tentatief en uitsluitend te zien als een persoonlijke inschatting van de auteur.

In het tweede hoofdstuk van deze studie werd aangegeven dat een substantieel deel van het geproduceerde chloor - in Europa ongeveer 55% - alleen in produktieprocessen wordt gebruikt. Voor wat betreft het deel van de keten naar de consument toe, is de toepassing voor wat betreft chloor reeds behoorlijk gesloten. Gelet op de grote vooruitgang in produktieprocessen en produktformuleringen, is te verwachten dat hier een groot deel van de gesloten toepassing-

gen - geslotenheid in de ruime definitie van 6.3.1 - van chloor te vinden zullen zijn. Alhoewel het nadere onschadelijkheidsbewijs nog te leveren is, lijken de meeste van deze toepassingen van chloor in het kader van een flexibiliteitsstrategie vooralsnog te kunnen worden gehandhaafd. Wel zal het noodzakelijk zijn de emissies op een aantal gebieden nog verder terug te brengen. Er komen vanuit de industrie indicaties dat hiertoe nog vele mogelijkheden bestaan⁹⁴.

Bij de andere 45% die via produkten aan externe afnemers (verwerkers, consumenten) wordt geleverd, gaat het voor een groot deel nog om open toepassingen. Er is in veel gevallen sprake van excess-emissie waarvan de onschadelijkheid nog niet overtuigend is aangetoond. Bij een deel van deze toepassingen van chloor, bijvoorbeeld voor lang-cyclisch PVC, lijkt kringloopsluiting op redelijke termijn goed mogelijk: door de emissies terug te brengen, waaronder het scheppen van voorzieningen voor terugname en hergebruik, of door alsnog de 'onschadelijkheid' daarvan op overtuigende wijze aan te tonen. In die gevallen waar de emissies onvoldoende ver kunnen worden teruggebracht en waar het onschadelijkheidsbewijs niet is te leveren, moet worden overgegaan tot eliminatie van het desbetreffende chloorprodukt. De strategische verkenning van het dichten van de chloorketen zoals die momenteel in Nederland op verzoek van de Vaste Commissie voor Milieubeheer van de Tweede Kamer wordt verricht, zou in dit kader op onderdelen reeds bruikbare informatie kunnen opleveren.

Het is niet onwaarschijnlijk dat ruwweg 25 tot 35% van de huidige toepassingen van chloor in het kader van een flexibiliteitsstrategie in de loop van de komende jaren zal (moeten) worden geëlimineerd. Met name omdat bij die toepassingen chloorloze alternatieven, gerekend over de hele keten, meer mogelijkheden bieden voor emissiereductie of voor het aantonen van 'onschadelijkheid'. Bij de overige toepassingen zijn vermoedelijk dusdanige maatregelen te treffen dat zij in het kader van genoemde strategie (vooralsnog) kunnen worden gehandhaafd.

Zoals gesteld, is bovenstaande inschatting slechts tentatief. Het gaat in deze studie meer om de wijze waarop moet worden omgegaan met onzekerheid, dan om de op dit moment grotendeels nog onoverzichtelijke uitkomsten daarvan voor specifieke toepassingen van chloor. Voor wat betreft het omgaan met onzekerheid, kan worden gesteld dat de eerder geschatte aanpak van systeemgerichte emissiereductie en produktgerichte omkering van bewijslast de chloor-industrie op gestructureerde wijze de mogelijkheid geeft haar produkten op basis van wetenschappelijke kennis vrij te pleiten. De industrie kan op deze wijze een aanzienlijke bijdrage geven aan de zo vaak door haar bepleitte wetenschappelijke opwaardering van de choordiscussie. De voorgestelde aanpak lijkt, indien op juiste wijze verder vormgegeven, produktdiscriminatie en generalisaties over chloor, voor zover ongemotiveerd, te kunnen voorkomen.

⁹⁴ pr. comm. VNCI.

6.5 De internationale context

Duurzaamheid is een begrip dat betrekking heeft op de gehele wereld. Behoud van de soortenrijkdom en vermindering van de uitputting van niet-vervangbare hulpbronnen zijn grensoverschrijdend. Een internationale aanpak van eventuele problemen ligt voor de hand, zo ook bij chloor.

Om te komen tot een snelle internationale besluitvorming kan het bedrijven van milieu-diplomatie zinvol zijn. Een goede en effectieve milieu-diplomatie is echter geen eenvoudige zaak. De gebruikelijke internationale overlegorganen munten gemiddeld genomen niet uit in praktische slagvaardigheid. Milieu-diplomatie van economisch ontwikkelde landen, waaronder Nederland, heeft meer dan eens de neiging te ontaarden in 'zendingsgedrag', hetgeen het bewerkstelligen van duurzaamheid meer kwaad dan goed doet. Heel algemeen kan worden gesteld dat de beste diplomatie het goede nationale voorbeeld is. Een land dat tegenover een import-emissie van 500 gram I-TEQ/jaar dioxinen een export-emissie van 730 gram I-TEQ/jaar dioxinen stelt, kan moeilijk andere landen op dat gebied een spiegel voorhouden. Wie zelf niet eerst orde op zaken stelt, mag dat ook niet van anderen verwachten.

Een groot deel van de wereld bevindt zich nog in een ontwikkelingsfase waarin streng economische prioriteiten gelden. De inzet van transactie-instrumenten is noodzakelijk om dit deel van de wereld te vrijwaren van een onevenredige afwenteling van de kosten van duurzaamheid. Bij deze instrumenten dient ook internationale overdracht van kennis en ervaring, onder meer op technologisch gebied, te worden betrokken. Het is niet onwaarschijnlijk dat deze vorm van transactie vanuit het oogpunt van duurzaamheid effectiever is dan directe geldelijke compensatie. Overigens gaat het bij de overdracht van kennis en ervaring niet alleen om eenrichtingsverkeer van rijke naar arme landen. De arme landen hebben, zeker als het gaat om duurzaamheid, de rijke landen soms veel te leren.

Een ordelijke transitie naar duurzaamheid stelt eisen in termen van maatschappelijke continuïteit, inzet op het juiste schaalniveau en aansluiting bij internationale ontwikkelingen. Wie teveel afwijkt van wat in het verleden gangbaar was of van wat elders gebruikelijk is, kan zich grote schade berokkenen zonder het doel van duurzaamheid dichterbij te brengen. Wat gangbaar is, kan soms echter verrassend snel worden omgebogen, terwijl wat elders gebruikelijk zal zijn, niet geheel vastligt en mede bepaald wordt door eigen optreden. Bij de economie is het zo dat de dynamiek volledig wordt geëlimineerd als geen enkel bedrijf of economie voorop wil lopen. Behoud en verbetering van marktpositie vereisen juist, binnen zekere grenzen, afwijkend gedrag en risico nemen. Vooroplopen is geen probleem, als de rest maar niet teveel uit het oog wordt verloren. Er zijn geen redenen waarom dit bij de gang naar duurzaamheid - waar niet alleen sprake is van bedreigingen, maar ook van positieve marktkansen - principieel anders zou zijn. De internationale context moet, ook voor wat betreft het overheidsbeleid, minder als belemmering en meer als een uitdaging worden gezien.

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid

W 80

Duurzaam watergebruik in Nederland

J. Dogterom

P.H.L. Buijs

International Centre of Water Studies (ICWS)

Damrak 83

1012 LN Amsterdam

tel: +31.20.6275387

fax: +31.20.6228384

Den Haag, december 1994

**Exemplaren van deze uitgave zijn te bestellen bij het Distributiecentrum
Overheidspublikaties, Postbus 20014, 2500 EA 's-Gravenhage, door overma-
king van f 15,-- op giro 751 dan wel schriftelijk of telefonisch
(071-352500) onder vermelding van titel en ISBN-nummer en het aantal
gewenste exemplaren.**

ISBN 90 346 3131 1

**Publikatie van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR),
Postbus 20004, 2500 EA 's-Gravenhage (tel. 070-3564600).**